Projekt und Bau

der

Albulabahn



Phot. Wehrli, A.-G. Kilchberg.

Denkschrift

im Auftrage der Rhätischen Bahn zusammengestellt

von

Dr. F. Hennings,

Professor am Eidgenössischen Polytechnikum,

seinerzeit Oberingenieur der Rhätischen Bahn



Chur

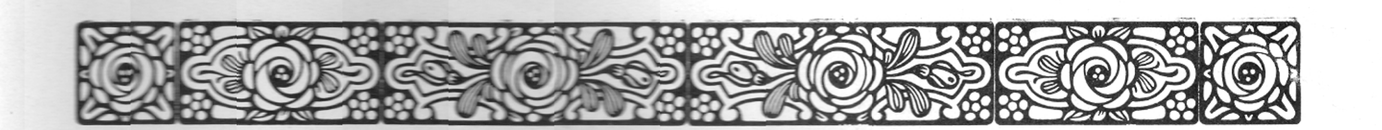
Kommissions-Verlag von F. Schuler - 1908

Buch- und Kunstdruckerei Jean Frey, Zürich

Inhaltsverzeichnis.

Verzeichnis der Tafeln.

Bemerkung. Die Schraffur der Querschnitte ist der Einfachheit halber weggelassen, wo die Zeichnung ohnedies deutlich genug ist.



I. Einleitung.

Als im Sommer 1896 die Bahngesellschaft „Landquart-Davos“, welche nunmehr den Namen der „Rhätischen Bahn“ annahm, ihr Bahnnetz von Landquart bis Thusis ausgedehnt hatte, entwickelte sich mit ihrer Hilfe ein überaus großer Verkehr nach diesem Ausgangspunkt der Albula- und Splügenstraße, und da die Schmalspur sich allen Anforderungen des Verkehrs gewachsen zeigte, brach sich mit größter Lebhaftigkeit im ganzen Lande die Ueberzeugung Bahn, daß man in Thusis nicht stehen bleiben dürfe, sondern daß nun die ganze Kraft des Kantons daran gesetzt werden müsse, dem Kanton ein schmalspuriges Bahnnetz zu verschaffen, welches nach und nach allen Haupttälern die unentbehrlich gewordene Wohltat des Bahnverkehrs bringen sollte.

Ein dahin zielendes bündnerisches Eisenbahngesetz wurde daher sofort entworfen und schon am 20. Juni 1897 vom Volke angenommen. In diesem Gesetz wurden die Beiträge der Gemeinden und des Kantons für die künftigen Bahnlinien festgestellt. Der Kanton beteiligt sich an der Ausführung der zu bauenden Bahnlinien mit Jahresbetrieb durch Uebernahme von Fr. 40,000.— in Aktien per Kilometer. Bei Bahnstrecken, deren Anlagekosten Fr. 200,000.— per Kilometer erreichen oder übersteigen, ist die Aktienbeteiligung auf Fr. 50,000.— und bei Tunneln von mehr als 3 km Länge auf Fr. 70,000.— zu erhöhen. Diese Beteiligung tritt nur dann ein, wenn die Interessenten an den betreffenden Linien (Gemeinden und Private) Aktien im Mindestbetrag von Fr. 25,000.— per Kilometer übernehmen und wenn höchstens die Hälfte des Anlagekapitals auf dem Anlehenswege aufzubringen bleibt. Die Gemeinden haben überdies für Bahnbau, Steinbrüche usw. öffentlichen Grund unentgeltlich abzutreten.

Die Linien Thusis-St. Moritz und Reichenau-Ilanz wurden als Prioritätslinien bezeichnet, welche in erster Linie zu bauen seien.

Der langgehegte Wunsch, eine Bahnverbindung mit dem Engadin zu besitzen, sollte also endlich verwirklicht werden, und da diese Verbindung mit einem so hochwichtigen, bisher durch hohe Gebirgszüge getrennten Landesteil nicht nur für den Kanton, sondern für die ganze Eidgenossenschaft von größter Bedeutung werden mußte, so konnte man hoffen, daß die Bundesbehörden aus politischen, militärischen und patriotischen Gründen zur Deckung der außerordentlichen Kosten einer so schwierigen Alpenbahn einen Beitrag nicht versagen würden.

Und diese Hoffnung wurde nicht getäuscht, denn am 30. Juni 1898 beschloß die Bundesversammlung:

„Die Eidgenossenschaft bewilligt dem Kanton Graubünden zum Zwecke der Erstellung schmalspuriger Eisenbahnen von Thusis über Filisur nach St. Moritz und von Reichenau nach Ilanz eine einmalige Subvention von 8 Millionen Franken unter der Bedingung, daß die Konzessionen des gesamten Schmalspurnetzes der Rhätischen Bahn mit Bezug auf die Rückkaufsbestimmungen vereinheitlicht werden, daß Kanton und Gemeinden Graubündens sich an der Erstellung der genannten Bahnlinien mit einem Betrage von wenigstens 7 Millionen Franken in Aktien beteiligen und daß bei der Ausführung derselben die aus militärischen Rücksichten festgesetzten Forderungen erfüllt werden.“

Nachdem nun folgende gesetzliche Aktienabnahme gesichert war:

seitens der Gemeinden	Fr.	2,080,000.—
„ des Kantons	„	4,270,000.—
„ des Prättigau und Davos	„	1,500,000.—
„ des Bundes	„	8,000,000.—
im ganzen	Fr.	15,850,000.—
so waren, zuzüglich des vom Kanton übernommenen Anlehens erster Hypothek im Betrage von	„	10,150,000.—
zusammen	Fr.	26.000,000.—

gedeckt, welche dem Kostenvoranschlag für die Herstellung der beiden Prioritätslinien entsprachen.

In der Sitzung vom 16. Juli 1897 hatte der Verwaltungsrat der Rhätischen Bahn die Herren: Oberst Th. von Sprecher, Nationalrat Dr. A. von Planta und Nationalrat Steinhauser zu Mitgliedern einer Kommission ernannt, welche mit der Aufgabe betraut wurde, den Ausbau der neuen Linien nach Maßgabe des kantonalen Eisenbahngesetzes gemeinschaftlich mit dem Herrn Direktor Schucan, welcher die Angelegenheiten dieses Schmalspurnetzes von Anbeginn geleitet hat, zu fördern und baldmöglichst zur Ausführung zu bringen. Diese Kommission wurde bezüglich der Angelegenheiten, welche die Kantonsregierung betrafen, erweitert durch zwei Mitglieder der Regierung: die Herren Regierungsräte Bühler und Peterelli. Als diese aus der Regierung ausschieden, wurden sie durch die Herren Regierungsräte Brügger und Stiffler ersetzt.

Der Verwaltungsrat übernahm zunächst das von der Schweiz. Eisenbahnbank dem Kanton abgetretene Archiv der Studien bündnerischer Bahnen gegen angemessene Entschädigung und die bezeichnete Kommission nahm sofort die ihr übertragenen Geschäfte in die Hand. Dieselbe mußte zwar zunächst infolge der in der Erledigung der Frage der Bundessubvention eingetretenen Verzögerung die Bildung eines eigenen Baubureaus hinausschieben.

Um aber die vorbereitenden Studien inzwischen nicht ruhen zu lassen, gelang es ihr, hiefür Herrn Oberingenieur Moser in Zürich zu gewinnen.

Auf Grund seiner Studien und seines Gutachtens über die bautechnischen und verkehrspolitischen Verhältnisse einer Albula- und einer Julierbahn, sowie eines bezüglichen Berichtes der Direktion der Rhätischen Bahn entschied sich der Verwaltungsrat am 29. Nov. 1897 auf Antrag der Kommission zugunsten des Albula.

Zur selben Zeit übertrug Herr Direktor Schucan Herrn Moser noch das Studium der Linie Silisur-Bevers mit 35 ‰ statt 45 ‰ Maximalsteigung, da es sich nach seinen Erhebungen über den künftigen Betrieb im höchsten Grade als wünschenswert herausstellte, die Leistungsfähigkeit der Bahn durch die Anwendung der geringeren Steigung um ca. 40 % zu steigern.

Das Ergebnis dieses Studiums war unerwartet günstig, indem sich herausstellte, daß eine Linie mit 35 ‰ Steigung mit einem Mehrbetrag von Fr. 1,200,000 hergestellt werden konnte, ohne in ungünstigeres Terrain zu geraten.

Ein noch weiter zielender Versuch einer Generalofferte der Firma Phil. Holzmann & Cie. in Frankfurt a. M. mit der Steigung bis auf 25 ‰ herunterzugehen, scheiterte daran, daß die Baukosten erheblich größer wurden und die Linie in so schwieriges Terrain und so schwierige Schneeverhältnisse geraten wäre, daß die Betriebssicherheit während des Winters in Frage gestellt war.

Der Verwaltungsrat beschloß daher 35 ‰ Maximalsteigung in der Strecke Silisur-Bevers anzuwenden, während in der Strecke Thusis-Silisur 25 ‰ Steigung nicht überschritten werden sollte.

Unmittelbar nach der Bewilligung der Bundessubvention wurde im Juli 1898 in Chur das Baubureau für die weitere Projektsbearbeitung und die Bauausführung der beiden Prioritätslinien Thusis-St. Moritz und Reichenau-Ilanz unter der Leitung von Oberingenieur Hennings errichtet.

Der Zweck des Folgenden ist, die wesentlichsten Momente von Projekt und Bau dieser Linien dem Gedächtnis aufzubewahren.

In erster Linie soll die Albulabahn behandelt und zunächst die Organisation der Bauleitung, die Vornahme der Studien für das definitive Bauprojekt und die für die Ausführung gewählte Trace beschrieben werden. Dann folgt die Beschreibung der wichtigsten Einzelheiten der Bauausführung und eine Reihe von Zusammenstellungen über Arbeitsmengen und Kosten unter Beifügung der wichtigsten Ausführungs-Pläne.

Zur besseren Uebersicht mögen die wichtigsten Zeitangaben der Bauperiode vorausgeschickt werden:

20. Juli 1897	Das bündnerische Eisenbahngesetz wird vom Volk angenommen.
30. Juni 1898	Die Bundesversammlung bewilligt 8 Millionen für den Bau der Albulabahn und Reichenau-Ilanz.
15. Juli 1898	Die technischen Vorarbeiten beginnen.
15. Okt. 1898	Der Richtstollen des Albulatunnels wird beidseitig in Angriff genommen.
15. Febr. 1899	Ronchi & Carlotti (später Ronchi & Majoli) übernehmen den Albulatunnel.
17. April 1899	Die gleiche Unternehmung übernimmt die nördlichen und südlichen Anschlußstrecken, 3 km lang.
15. Juni 1900	Ausschreibung der Unterbauarbeiten der Nordseite.
30. Juli 1900	Vergebung dieser Arbeiten.
15. Nov. 1900	Vergebung der Arbeiten im Engadin bis Celerina.
1. April 1901	Beginn des Regiebaus im Albulatunnel.
5. Nov. 1901	Entscheidung des Bundesrats in der Stationsfrage von St. Moritz.
10. Dez. 1901	Brückenprobe beim Rheinübergang Thusis.
29. Mai 1902	Durchschlag des Albulatunnels.
6. Juni 1902	Das neue Projekt Celerina-St. Moritz wird genehmigt.
1. Dez. 1902	Der Oberbau Thusis-Preda ist fertig gelegt (nur im Rugnux- und im Zuondratunnel fand die Gleislage erst im Winter statt).
15. April 1903	Der Oberbau ist im Albulatunnel gelegt.
15. Mai 1903	Das Gleis liegt bis Celerina.
1. Juli 1903	Eröffnung bis Samaden, resp. Celerina.
10. Juli 1904	Eröffnung bis St. Moritz.

II. Organisation der Bauleitung.

Für die Projektsbearbeitung und Bauleitung wurde der technische Dienst folgendermaßen eingerichtet:

Im Zentralbureau Chur stand dem Oberingenieur Hennings zunächst als Adjunkt Herr Ingenieur Gilli (früher Oberingenieur des Kantons) zur Seite. Diesem Zentralbureau wurde außer den Ingenieuren, Zeichnern und Buchhaltern Herr Geometer Graf zugeteilt, dem teils die Grunderwerbsberechnung, teils die Aussteckung der schwierigeren Tunnelaxen (Albulatunnel und Spiraltunnel) übertragen wurde. Hiezu kam später als Leiter der Hochbauten Herr Architekt Ludwig mit einigen Hülfskräften.

Die gesamten Geschäfte der Grundeinlösung leitete Herr Nationalrat von Planta in Reichenau.

Die Albulalinie wurde zunächst in 3 Sektionen eingeteilt.

Die erste Sektion erstreckte sich von Thusis bis zur Station Filisur (23 km) und wurde Herrn Sektionsingenieur G. Zollinger übergeben, der sein Bureau in Chur einrichtete. Diese Sektion wurde in 4 Lose eingeteilt, denen als Bauführer vorstanden: die Ingenieure Berg, Albrecht, Brändli und Akatos. Jedem Bauführer wurde ein Assistent beigegeben. Als Herr Brändli mitten im Bau einer Lungenentzündung erlag, ersetzte ihn sein Assistent: Ingenieur Hs. Studer.

Die zweite Sektion erstreckte sich von Filisur bis Mitte des Albulatunnels (24.5 km) und wurde von Herrn Sektionsingenieur O. Drossel mit Wohnsitz in Bergün geleitet.

Leider mußte Herr Drossel Ende 1900 aus Gesundheitsrücksichten seine Stellung niederlegen. Sein Nachfolger war Herr Ingenieur H. Perbs, der zur allgemeinen Bestürzung am 9. August 1901 seinen plötzlichen Tod fand bei einem Unglücksfall am Greifensteintunnel oberhalb Filisur, als er die Ausgrabung von 4 Arbeitern leitete, die durch einen Tagbruch am Tunnelausgang verschüttet waren.

Bei dem weit vorgeschrittenen Bau wurde seine Stelle nicht mehr neu besetzt, zumal das 8. Los seit 1. April 1901 der Bauleitung des Albulatunnels zugewiesen war. Das 5. Los wurde der ersten Sektion zugeteilt und durch eine Verlängerung des 6. Loses wurde der Bauführer des 7. Loses, Herr v. Carlshausen, so entlastet, daß er die verbleibenden Sektionsgeschäfte mit besorgen konnte.

Auch die 2. Sektion bestand nämlich ursprünglich aus 4 Losen (5—8), welche den Bauführern Raschle, Simonett, Carlshausen und Schöninger zugeteilt wurden. Als Herr Raschle während des Baues zu den Bundesbahnen überging, wurde die Bauführung des 5. Loses seinem Assistenten, Herrn Ing. G. Bener übertragen. Das 8. Los wurde, wie bereits erwähnt, am 1. April 1901 von der Sektion Bergün abgetrennt, als der Bau des Albulatunnels von der Rh. B. in Regie übernommen und die gesamte Bauleitung des Albulatunnels samt den beiderseitigen Anschlußstrecken, welche Ronchi & Carlotti mit übernommen hatten, Herrn Ingenieur R. Weber übertragen wurde.

Während des Regiebaues des Albulatunnels standen Herrn Weber als Bauführer zur Seite die Herren Bevilacqua (Nordseite) und W. Siegrist (Südseite), denen die Assistenten Lienhard und Prada zugeteilt waren. Die Werkstätten leitete Herr Ing. Giordano. (Bevilacqua und Giordano hatten bereits im Dienste der Unternehmung gestanden.)

Die 3. Sektion erstreckte sich ursprünglich von Albulatunnel-Mitte bis zum Ende der Station St. Moritz (14 km). Sie wurde wegen der dort weniger dringlichen Arbeiten erst

ein Jahr später eingerichtet, indem die Aufsicht über die ersten Arbeiten auf der Südseite des Albulatunnels dem Bauführer des 8. Loses, Herrn Schöninger, mit übertragen wurde, der zeitweise seinen Sitz in Bevers nahm, dann aber anfangs 1901 aus Gesundheitsrücksichten den Dienst der Albulabahn verließ.

In der dritten Sektion, deren Leitung Herrn Ingenieur Köchlin übertragen wurde und die in 3 Lose (9—11) geteilt war, ergaben sich verschiedene Aenderungen, teils durch den Regiebau des Albulatunnels, teils durch die lange Wartezeit, welche durch die Verhandlungen über die vielumstrittene Frage der Stationslage von St. Moritz hervorgerufen wurde. Einerseits wurde dadurch der Sektionsanfang bis gegen Bevers vorgeschoben und andererseits konnte die Strecke Celerina-St. Moritz erst nach dem bundesrätlichen Entscheid vom 5. Nov. 1901 über die Stationslage von St. Moritz projektiert und ausgeführt werden, so daß die Tätigkeit der 3. Sektion sehr eingeschränkt war. Zufolge dieser Verhältnisse blieben nur 2 Lose übrig, deren Bauführung Herrn Sektionsingenieur Köchlin und Herrn Bauführer Ganzoni übertragen wurde. Im August 1903 verließ Herr Köchlin den Dienst der Rh. B. und als im Herbst desselben Jahres Oberingenieur Hennings nach Zürich übersiedelte, um am eidgen. Polytechnikum die Professur für Eisenbahn- und Straßenbau zu übernehmen, wurde die Bauleitung der unvollendeten Strecke Celerina-St. Moritz Herrn Sektionsingenieur G. Zollinger übergeben, während Herr Ganzoni jetzt Bauführer dieses Loses war.

III. Vorarbeiten.

Als das Baubureau im Juli 1898 seine Arbeiten begann, lagen folgende Vorstudien vor:

a) für die Strecke Thusis-Filisur das alte Mosersche Projekt einer Bahn von 1 m Spurweite (in einem Kurvenplan im Maßstab 1:5000), welches ein Teilstück der seinerzeit von Advokat Hunger angeregten „Bündnerischen Zentralbahn" war, die großspurig von Chur bis Thusis und schmalspurig von Thusis bis Filisur, vielleicht bis Bellaluna geführt werden sollte.

Dies Projekt stammte aus den Jahren 1886/87; die Linie war 20 km lang, hatte 30‰ Maximalsteigung und 100 m als kleinsten Halbmesser; der Endpunkt lag im Talboden in der Nähe von Alveneubad.

Die Konzession für diese Linie war dem Initiativkomitee im März 1887 erteilt, verfiel aber, als die Finanzierung scheiterte und wurde im Juni 1891 von Oberingenieur Gilli in Chur zugunsten der Albulabahn wieder erworben.

b) Für die Strecke Filisur-Samaden das schon erwähnte neue Mosersche Projekt mit 35‰ Maximalsteigung.

Diesem Moserschen Projekt hatten als Grundlage gedient: Horizontalkurvenpläne im Maßstab 1:2000, welche das Initiativkomitee, an dessen Spitze der Konzessionär Oberingenieur Gilli stand, 1890 hatte aufnehmen lassen und ein Projekt, welches Gilli und Perbs auf Grund dieser Pläne ausgearbeitet hatten.

Es war nun die Aufgabe des Baubureaus, so schnell als möglich das definitive Bahnprojekt auszuarbeiten und zur Ausführung zu bringen, denn nachdem die Geldbeschaffung gesichert war, wünschte man die Bahneröffnung ins Engadin mit allen Kräften zu beschleunigen.

Die angestellten Berechnungen ergaben, daß bei angestrengter Arbeit die Albulabahn bis zur Sommersaison des Jahres 1903 eröffnet werden könne.

Um dieses Ziel zu erreichen, war zunächst notwendig, den mit 5840 m Länge projektierten Albulatunnel in Angriff zu nehmen, dessen Herstellung natürlich den größten Zeitaufwand erforderte.

Die Lage des Tunnels war durch das Vorprojekt derart gegeben, daß man die Tunnelgerade unverweilt an Ort und Stelle bestimmen konnte. Sie schneidet den westlichen Gipfel der „Giumels" und es gelang im September 1898 Herrn Geometer Wildberger von Chur, von der Höhe dieses Gipfels aus die Achse des Tunnels, mit einer einzigen Umstellung des Instrumentes, nach beiden Seiten hinreichend genau festzulegen, um schon Ende Oktober 1898 von beiden Tunnelmündungen aus den Sohlstollen in Angriff nehmen zu können.

Die Herstellung des Richtstollens wurde zunächst in eigener Regie der Rhätischen Bahn begonnen, da bis zur Vergebung an Unternehmer immerhin noch Monate vergehen mußten und die Direktion, um keine Zeit zu verlieren, wünschte, daß der Richtstollen noch vor dem Winter begonnen werde.

Die Winkelmessungen zum Anschluß der Tunnelachse an die Landestriangulierung und die weiter notwendigen Arbeiten zur Sicherung der Tunnellage, sowie die Berechnungen der Länge folgten dann im Frühjahr 1899 und wurden, ebenso wie die periodischen Aussteckungen im Tunnel durch Herrn Oberst Reber vom eidgen. topographischen Bureau in Bern durchgeführt, dem für diese Aufgaben seitens der Rhät. Bahn Herr Geometer W. Graf beigegeben war, dessen nähere Beschreibung dieser Arbeiten unserer Denkschrift eingefügt ist.

Die Ausführung des Albulatunnels wurde am 16. Januar 1899 an die vorzüglich empfohlene italienische Firma Ronchi und Carlotti übergeben auf Grund einer Ausschreibung, bei welcher 7 Offerten einliefen. Nach den Vorausmaßen und den von den 7 Unternehmern anerbotenen Preisen ergab sich eine Verschiedenheit der Bausumme zwischen 5 und 8.6 Millionen.

Während die Arbeiten des Albulatunnels eingeleitet wurden, begann man im Juli 1898 auch sofort mit der Ausarbeitung des Projektes der ganzen Linie mit Hilfe der allerdings erst nach und nach eintreffenden Ingenieure, welche teilweise noch aus ihren seitherigen Stellungen sich loslösen mußten.

Das Moser'sche Projekt der Strecke Thusis-Filisur vom Jahre 1887 mußte der veränderten Steigung und des geänderten Zieles wegen umgearbeitet und eine neue Linie gesucht werden, wobei auch die größere Bedeutung der nun ins Auge gefaßten Albulabahn eine umfassendere Fürsorge für die Betriebssicherheit und daher namentlich vermehrte Tunnellängen erforderte. Auch zwischen Bergün und dem Albulatunnel ergaben die Sondierungen und Lawinenstudien eine wesentlich andere Lage der Entwicklungsschleifen, als im Vorprojekt vorgesehen war.

Die erste Vorbereitung zu den definitiven Studien war die Herstellung eines Fußweges in der Nähe der projektierten Linie in den schwer zugänglichen Teilen derselben: namentlich im Schyn und in der Strecke zwischen Filisur und dem Bergüner-Stein. Dann begann die Aussteckung in tunlichster Nähe der geplanten Trace zur Aufnahme der Querprofile, sowie die Sondierung des Terrains durch Schlitze, Schächte und Stollen, um die Beschaffenheit der Bodenarten und die Felslagerung aufzuklären.

Wegen der Verschiedenheit der baulichen und klimatischen Verhältnisse trennen wir die folgende Schilderung der gewählten Trace nach den Strecken: Thusis-Filisur, Filisur-Preda, Albulatunnel, Spinas-St. Moritz.

IV. Beschreibung der Linie.

a) Thusis-Filisur.

23,175 km.

Eine sehr wichtige Frage mußte gleich anfangs entschieden werden, in welcher Weise nämlich die Fortsetzung der Linie von der bestehenden Station Thusis aus vorzunehmen sei, von wo die Abzweigung nach Filisur früher mit einer Steigung von 30 ‰ in Aussicht genommen war, während dieselbe jetzt nur 25 ‰ betragen sollte.

Man dachte zuerst eine Entwicklungsschleife im untern Teil der Viamala anzulegen; es zeigte sich jedoch bei weiterem Studium die Möglichkeit, ohne weiteres von der ausgeführten Station Thusis mit 25‰ Steigung in die Schynschlucht einzufahren, wobei nur der Nachteil gegenüber dem früheren Projekt eintrat, daß der Abhang am „Freigut" nicht, wie im Vorprojekt, an seinem Rande in offener Bahn umfahren werden konnte, sondern mit einem geradlinigen Tunnel von 500 m Länge (Runplanas-T.) zu unterfahren war.

Im übrigen konnte die Bahnhöhe, welche bei der Solisbrücke erforderlich ist, mit der 25 ‰-Steigung schon bei „Paßmal" — 2 km vor der Solisbrücke — erreicht werden. Von da bis zur Station Surava sind dann auf 10 km Länge nur geringere Steigungen notwendig und erst von Surava steigt die Bahn wieder bis Filisur mit 25 ‰, um die für die Station Filisur in Aussicht genommene Höhenlage von 1083.4 zu erreichen. Diese Höhenlage ist notwendig für die Fortsetzung der Albulabahn sowohl, als auch für den späteren Anschluß der von Davos angestrebten direkten Bahnverbindung mit Filisur.

Ein sehr sorgfältiges Studium erforderte die Feststellung der Linie im Schyn, insbesondere in der Strecke von Campi bis Müstail, wo die über dem anstehenden Bündnerschiefer streckenweise vorfindliche Ueberlagerung größtenteils aus abgestürztem Material besteht, das sich vielfach in labilem Gleichgewicht befindet und weder angeschnitten noch belastet werden darf. Man mußte daher vielen Gefahren durch Verlegung der Bahn in Felstunnel ausweichen und, wo die Linie im Freien zu führen war, gemauerte Viadukte herstellen, deren Pfeiler leichter ohne Rutschungsgefahr zu fundieren waren, als Mauern, deren Fundamentgruben die ganze Lehne leicht in Bewegung bringen konnten. An verschiedenen Orten freilich waren tiefe Fundierungen einzelner Pfeiler nötig, um das Mauerwerk auf gewachsenen Fels zu stellen, doch gaben dieselben keinen Anlaß zu Rutschungen.

In der 9 km langen Strecke von Campi bis Müstail sind 12 Tunnel von 4270 m Gesamtlänge (47.4 % der ganzen Länge) und 23 Viadukte mit 1074 m Gesamtlänge (22,7 % der freien Bahn) ausgeführt.

Die Bestimmung der Lage der meisten Stationen erforderte anläßlich der Gemeinde-Forderungen ausführliche Erörterung und es gab auch die Anlage der Zufahrtsstraßen zu weitläufigen Verhandlungen Anlaß, da über die bezüglichen Verpflichtungen der Bahn und der Gemeinden im Eisenbahngesetz leider keine wegleitende Bestimmung getroffen war.

Die Station Sils wurde neu eingeschaltet und sowohl für diese Station, als auch für die Stationslagen von Solis, Tiefenkastel und Surava mußten verschiedene Varianten ausgearbeitet werden. Die Station Solis war zuerst am rechten Ufer kurz nach der Solisbrücke projektiert, dann wurde mit Rücksicht auf die Holzabfuhr noch eine Station Mutten verlangt, für welche in der Gegend von „Calabrien" (kurz vor dem Muttner Tobel), der erforderliche Raum indes nicht zu gewinnen war und schließlich einigte man sich auf der Basis einer mittleren

Lage am linken Ufer, unweit der Solisbrücke. Tiefencastel warb für eine Station am linken Ufer, die aber wegen der äußerst schwierigen, im Winter stets vereisten Felsen, welche flußaufwärts von der Solisbrücke am linken Ufer anstehen und wegen des weiter oberhalb nötigen kostspieligen Talüberganges nicht zugestanden werden konnte. Ein weiteres Begehren: die Station Tiefencastel am rechten Ufer in die tiefliegende Talebene Almeras zu verlegen, konnte wegen der dadurch bedingten verlorenen Steigung nicht erfüllt werden. Surava, wünschte seine Station unmittelbar oberhalb der Ortschaftsmitte, doch ergaben sich allzu ungünstige Bau- und Zufahrtsverhältnisse.

Der Wunsch der Gemeinde Schmitten, an der steilen Lehne zwischen dem Schmittentobel und dem Landwasser eine Haltestelle zu erhalten, erwies sich wegen der großen Kosten als unausführbar.

Bei der Station Alvaneu ergab sich eine Reihe schwieriger Verhandlungen wegen der Zufahrten, indem die Rhätische Bahn sich nur verpflichtet fand, eine für die Davoser Post fahrbare Zufahrt von der Station aufwärts bis Alvaneu-Dorf herzustellen, nicht aber zum Bau einer 2. Zufahrtsstraße abwärts zu der Zweiggemeinde Alvaneu-Bad. Mit Hilfe der Kantonsregierung und der Bundesbehörde kam schließlich über die Kostenverteilung dieser letzteren Straßenverbindung ein Kompromiß zustande.

Die Linienführung ist nun folgende: Unmittelbar nach der Station Thusis, die 700,5 m über dem Meer (bei 41,181 km*) liegt, beginnt die Bahn mit 25‰ zu steigen und wendet sich nach links, um den Hinterrhein auf einer 80 m weiten Eisenkonstruktion und 9 anschließenden Gewölbebögen von 11—15 m Weite zu überschreiten. Der letzte Bogen übersetzt die Albulastraße, die in der Folge zunächst links der Bahn liegt. Die Fahrbahn der eisernen Brücke befindet sich 22 m über Niederwasser, die Eisenkonstruktion ist eine Fachwerkbrücke mit Fahrbahn oben und gerader oberer, gekrümmter unterer Gurtung (Tafel 11).

Die große Lichtweite und Lichthöhe der Mittelöffnung wurde hier vorsichtshalber gewählt mit Rücksicht auf die außerordentlichen Geschiebemassen, welche der unmittelbar oberhalb einmündende gefährliche Wildbach „Nolla“ bei großem Hochwasser früherer Jahre bis an die Brückenstelle geworfen hat, obwohl freilich eine Wiederholung solcher Katastrophen zufolge der inzwischen erstellten und fortwährend ergänzten Verbauungsarbeiten im Nollagebiet als durchaus unwahrscheinlich gelten kann.

Während also an dieser Stelle die Verhältnisse eine Eisenbrücke erforderten, kommen in der übrigen Bahnanlage nur noch einige kleinere eiserne Brücken an solchen Stellen vor, wo die Konstruktionshöhe sehr gering ist. Alle übrigen Kunstbauten sind als Gewölbe ausgeführt, welche aus den trefflichen Bausteinen des Bahngebietes hergestellt werden konnten und sowohl hinsichtlich der Bau- und Unterhaltungskosten, als hinsichtlich ihrer Anpassung an die umgebende Gebirgswelt den eisernen Brücken weitaus vorzuziehen waren.

Kurz nach dem Rheinübergang folgt bei 43,08 km die Station Sils auf der Höhe von 738,5 m ü. M., dann tritt die Bahn an die Albulastraße, welche auf hohen Trockenmauern nach links verschoben und mittels Gewölbe über die Bahn geführt wird, worauf die Bahn über drei kleinere gewölbte Viadukte und durch einen langen Felseinschnitt — der vorzügliche, lagerhafte Kalksteine für die in der Nähe liegenden und weiter folgenden Mauerwerke lieferte — zur malerisch gelegenen Ruine „Campi“ gelangt, unter welcher ein Tunnel von 32 m Länge erstellt ist.

Von Campi ab folgt bis zur Station Solis (km 49,33 — 854 m. ü. M.) eine fortlaufende Kette von Mauern, Viadukten und Tunneln. Die Viadukte dieser Strecke haben eine Gesamtlänge von 515 m. Die bedeutendsten sind die Uebergänge über das Lochtobel (Tafel 12) mit 5 Gewölben von 16 m Weite und über das Muttnertobel (Tafel 13) mit einem 30 m weiten Halbkreisgewölbe. Bemerkenswert sind auch die Sicherungsbauten in den Wildbächen des äußern und innern Cugnieler-Tobels bei km 45,4.

Unter den Tunneln dieses Teiles, deren Gesamtlänge 2927 m beträgt, sind der Versasca-Tunnel (694,5 m lang) und der Solis-Tunnel (986 m lang) besonders zu erwähnen, ersterer

---

*) Der Nullpunkt ist Mitte des Aufnahmsgebäudes der Station Landquart.

weil im letzten Drittel seiner Länge die obere Profilhälfte nasse, sandige Moräne antraf, welche erheblichen Einbau erforderte, letzterer wegen der außerordentlichen Härte der dickbankigen Kalkschichten, welche so kompakt waren, daß ²/₃ der Länge ohne Mauerwerksverkleidung belassen werden konnten.

Die Stationsanlage von Solis erforderte eine bedeutende Verlegung der Kantonalstraße und erhebliche Erdarbeiten. Kurz nach dieser Station wird eine Straßenkrümmung, deren Verlegung an dem steilen Hang schwierig erschien, durch einen Viadukt zweimal gekreuzt, dann folgt die „Solisbrücke", mittelst welcher die Bahn vom linken aufs rechte Albula-Ufer geführt wird.

Dieser Talübergang (Tafel 14) besteht aus einem Halbkreisbogen von 42 m Durchmesser und 10 anschließenden Gewölbebögen von 8—10 m Weite, durch deren ersten und letzten die Albulastraße geführt ist. Der gewaltige Hauptbogen, aus schönem dunklen Kalkstein musterhaft aufgebaut, erhebt sich 80 m über dem grünen Wasser der Albula und gewährt — eingerahmt von den trotz der Schroffheit bewaldeten Felshängen — einen sehr malerischen Anblick.

Nach diesem Talübergang trennt sich die Bahn von der bisher benachbarten Kantonsstraße, welche nach Alvaschein hinaufführt, während die Bahn ihrer Höhenlage treu bleiben und das nun folgende enge Felstal der Albula, welches bisher weglos war, mit Hilfe von 4 Tunneln und 6 Viadukten überwinden muß. Den letzten dieser Viadukte bildet das 27 m weite Gewölbe über der Felsschlucht, welche bei der alten Kirche Müstail die Bahn schneidet.

Von hier, bei km 52,7 bis zum Schmittentobel bei km 62.6 tritt nun die Bahnlinie in ein milderes Terrain, was sich schon dadurch kennzeichnet, daß in dieser Strecke nur 5 Viadukte von 206 m Gesamtlänge und ein ganz kurzer Tunnel (25 m) vorkommen.

Am meisten Schwierigkeiten boten in dieser Strecke die Felssprengungen und Sundierungen an der steilen Lehne gegenüber von Tiefencastel, wo wegen der Nähe von Straße und Häusern größere Vorsichtsmaßregeln und Schutzanlagen erforderlich waren.

In der Bahnstrecke zwischen Müstail und Schmittentobel liegen die Stationen: Tiefencastel 887 m ü. M. bei km 53,95, Surava 942.4 m ü. M. bei km 58,13 und Alvaneu 1002.5 m ü. M. bei km 60,78. Vor der Station Tiefencastel (Tafel 31) nähert sich die von Alvaschein herabkommende Albulastraße wieder der Bahnlinie und übersetzt sie am Anfang der Station mittels gewölbter Ueberfahrtsbrücke, so daß die Straße nun bis zum Anfang der Station Surava rechts der Bahn liegt, dort aber mittels Ueberfahrt a. g. H. wieder auf die linke Bahnseite übergeht. Hier bleibt sie indes nur auf die Länge von 1 km, worauf sie in einer gewölbten Durchfahrt wieder auf die Talseite gelangt und nun bis weit oberhalb Preda rechts der Bahn liegt.

Nach dieser vergleichsweise leichteren Bahnstrecke stellen sich dem Bahnbau vom Schmittentobel (km 62.6) ab wieder größere Schwierigkeiten entgegen. Dieses Tal erforderte einen gewölbten Viadukt von 7 Oeffnungen à 15 m Weite, der 137 m lang ist und 35 m über dem Wasser liegt. Dann folgt ein Felseinschnitt, ein 26 m langer Felstunnel, ein Viadukt von zwei Oeffnungen à 8 m, wiederum ein Felseinschnitt, und dann der große L a n d w a s s e r ü b e r g a n g.

Derselbe enthält 6 Halbkreisgewölbe von 20 m Weite, ist 130 m lang und liegt 65 m über dem Wasserspiegel. Zwischen Felsen eingespannt, trägt der Viadukt an seinem Ende in hoher, schroffer, schwarzer Felswand das Portal des nun folgenden 216 m langen Tunnels (Tafel 15 u. 18). Zur besseren Anpassung an die beidseitigen Felsen ist der ganze Uebergang ausnahmsweise in einem Halbmesser von 100 m angelegt, während sonst der kleinste Halbmesser der Bahn 120 m beträgt. Zum Ausgleich ist hier auf 280 m Länge die Steigung von 25 ‰ auf 20 ‰ ermäßigt, um den vermehrten Widerständen Rechnung zu tragen.

Kurz nach dem Landwasser-Tunnel, welcher an den Viadukt anschließt, folgt die Station Filisur in der Höhe 1083,5.

In geologischer Beziehung ist hinsichtlich der Strecke Thusis-Filisur folgendes anzuführen:

Die Schluchten des Schyn bestehen aus unterjurassischen Bündnerschiefern, die aus schwarzen, dünnblättrigen Schiefern und festen, kieselreichen Kalken bestehen, welche letztere vorzügliches Baumaterial liefern. Die Schichtung wechselt infolge zahlreicher Verwerfungen und Faltungen. Nahe der Solisbrücke umschließt der Bündnerschiefer einen Fetzen Rötidolomit.

Vor und bei Tiefencastel tritt Gips auf und bei Surava liegen ausgedehnte Tufflager, welche jetzt dem Engadin Bausteine liefern; dann tritt die Bahn bei Alvaneu in das Gebiet des Virgloriakalkes mit schwarzen und grauen harten Kalksteinen von muscheligem Bruch. Das Schmittener- und Landwasser-Tobel liegen in alpinem Muschelkalk und in Rauhwacke. In letzterer liegt der Tunnel nach der Landwasserbrücke und es bestehen die kegelförmigen Felsspitzen oberhalb Filisur ebenfalls aus diesem weichen Gestein, das sich wegen seiner geringen Wetterbeständigkeit und Druckfestigkeit nicht als Baustein verwenden läßt.

b) Filisur-Bergün.

8.779 km.

Die Höhenlage der Station Filisur hat mannigfachen Bedingungen zu genügen. Mit Rücksicht auf die Fortsetzung gegen Bergün und gegen Davos mußte sie möglichst hoch gelegt werden. Hätte man sie aber höher gelegt, als sie jetzt ausgeführt ist, so hätte die 25‰ Steigung schon vor der Station Surava beginnen müssen, dann aber hätte diese Station und die folgende Strecke nicht wie jetzt in der Ebene angelegt werden können, der Landwasserviadukt wäre noch höher geworden und die Station Filisur, die jetzt schon 50 m höher als die Ortschaft liegt und zu der für Holztransport eine sanft steigende Zufahrt zu erstellen war, wäre in eine ungeeignete Lage gekommen.

Die Einmündung der Davoser Linie kann bei der jetzigen Stationslage ohne Schwierigkeit bewirkt werden. Weniger einfach liegt die Verbindung mit Bergün. Vielfache Studien haben dargetan, daß die Station Bergün sowohl im Hinblick auf die Weiterführung der Bahnlinie als im Hinblick auf die Ortsentwicklung am besten am rechten Tuorsufer, in der Höhe 1375 angelegt wird.

Der Höhenunterschied zwischen Filisur und Bergün beträgt also rund 292 m und es bedarf zur Ersteigung dieser Höhe mit 35‰ einer Bahnlänge von 8.34 km. Da nun aber die direkte Tallänge nur 7.5 km mißt und aus Betriebsrücksichten zwischen Filisur und Bergün überdies noch eine Ausweichstelle mit ermäßigtem Gefälle einzuschalten und in langen Tunneln das Gefälle ebenfalls zu ermäßigen war, so ergab sich zwischen diesen beiden Stationen die Notwendigkeit einer künstlichen Bahnverlängerung im Ausmaß von ca. 1200 m.

Die Ursache des großen Höhenunterschieds zwischen Filisur und Bergün liegt in dem plötzlichen Absturz des Albulaflusses am Bergünerstein nahe bei Bergün, indem das Talgefälle bis dort zwar nur 3,5%, von da bis Bergün aber 12% beträgt. Dem allgemeinen Tracierungsgrundsatz: stets möglichst nahe dem Talboden zu bleiben, hätte es daher entsprochen, wenn man die Entwicklungsschleife am Bergünerstein angelegt hätte. Es zeigte sich aber, daß eine Entwicklung in dem Terrain unmittelbar oberhalb Filisur mit geringerer Tunnellänge ausführbar war als am Bergünerstein und daß die dann folgende — durch die Schleife um ca. 40 m höher gelegte Strecke, insbesondere an der in Aussicht genomnenen Ausweichstelle Stuls, in ein günstigeres Terrain gelangte.

Danach gestaltet sich die Bahnanlage von Filisur bis Bergün folgendermaßen:

Bald nachdem die Bahn die Station Filisur verlassen hat, ergeben die beiden kleinen Seitentäler, zwischen denen die Ruine Greifenstein aufragt, Gelegenheit, mit Hilfe des Greifensteintunnels (698 m lang) und des Schloßbergtunnels (56 m lang) also mit Hilfe einer Tunnellänge von 754 m, die erforderliche Entwicklungsschleife von 1200 m Länge zu gewinnen. Diese beiden Tunnel durchfahren — mit Ausnahme der im Bergschutt liegenden Eingangsstrecke des Greifensteintunnels — trockene Rauhwacke, welche sehr leicht zu gewinnen ist und doch nur ein leichtes Verkleidungsmauerwerk erfordert.

Auch in der freien Bahn kommen hier zwei größere Anschnitte in der Rauhwacke vor. Sie haben bergseits sehr breite Gräben und bei größerer Höhe eine Verkleidung mit Mörtelmauerwerk erhalten, da sich im Frühling eine starke Abwitterung zeigt.

Bald nach der Schleife tritt zuerst Virgloriakalk, dann roter und grüner Verrucano auf, der später oberhalb Bellaluna in Porphyr übergeht. Stellenweise findet sich fester weißer Tuffstein.

Die Bahn zieht sich nach dem Spiraltunnel 150 m hoch über der Albula und der Kantonstraße dem steilen, aber trockenen, bewaldeten Hang entlang, dessen steinreiche Schutthalde von steilen Felswänden unterbrochen oder überragt wird und sich oft auch talseits auf schroffe Felswände stützt.

In dieser Strecke zwischen Filisur und dem Bergünerstein finden wir 8 Viadukte von 316 m Gesamtlänge und einschließlich der Schleife bei Filisur 11 Tunnel, zusammen 1806 m lang.

Unter diesen Viadukten sind die Gewölbe über das Surmintobel (Tafel 14) von 20 m Weite und die beiden 25 m weiten Brücken am Stulser Tobel bemerkenswert, insbesondere die mittlere Brücke, welche einen prächtigen Wasserfall übersetzt.

Wo hier die Bahn nicht im Tunnel oder auf Viadukten liegt, ist sie fast überall tal- und bergseits durch Trockenmauern gestützt, die im Mittel etwa 4 Meter hoch sind und $^1/_3$ Anzug haben.

Am Stulser Tobel ergibt sich zwischen den beiden Brücken eine bergseitige Einschnittswand, deren große Höhe sich durch die ungünstige Felslagerung ergeben hat, sonst sind hohe Anschnitte vermieden. An vielen Orten ist in dieser Gegend Schutz gegen Steinschlag nötig, der während der ersten Betriebsjahre fortwährend ergänzt wurde.

Bei km 70.19 ist die Ausweiche Stuls angelegt, die zugleich dem kleinen oberhalb gelegenen Bergdorf Stuls als Station dient, — 5,83 km von Filisur, 2,94 km von Bergün entfernt. — Dieser Ausweiche zulieb ist das Steigungsverhältnis von 35‰, 140 m lang, auf 15‰ ermäßigt. Im übrigen ist die Steigung dieser Strecke nur noch im Greifensteintunnel von 35‰ auf 31.5‰ herabgesetzt.

Der Bergünersteintunnel liegt in der Graden und ist 409,5 m lang. Unterhalb seines Eingangs liegt die Albulastraße 34 m tiefer als die Bahn, am Ausgang liegt sie auf gleicher Höhe und befindet sich unmittelbar neben der Stützmauer, welche talseits die Bahn einfaßt. Aber schon 124 m nach dem Bergünersteintunnel tritt die Bahn wieder in den 333 m langen Glatscheras-Tunnel ein, worauf sie nach weiteren 400 m zur Einfahrtsweiche von Bergün gelangt.

Der letztgenannte Tunnel ist erst während des Betriebs, in der Zeit vom 9. Sept. 1903 bis 28. Januar 1904, also in 144 Tagen, ganz in gewachsenem Fels hergestellt, weil die vorgelagerte Schutthalde, in welcher die Bahn hier zuerst angelegt war, kurz vor der Bahneröffnung ins Rutschen geriet und diese Rutschung dann bei der Höhe und Steilheit des Hanges so große Dimensionen annahm, daß der Bahnbestand ernstlich gefährdet wurde.

Das Rutschgebiet (Tafel 31) befindet sich an einer Stelle, wo die vorher und nachher unmittelbar an die Bahn stoßenden Felsen auf 120 m Länge derart zurücktreten, daß ihnen eine nahezu $1^1/_2$ füßige Schutthalde vorgelagert ist. Oberhalb dieser Felsen, ca. 240 m über der Bahn, liegen wellig geformte Wiesen, in deren Mulden sich bei der Schneeschmelze kleine Seen bilden. Die Lehne erschien durchaus trocken und war teilweise bewaldet. In derselben war der Bahnkörper mit einer bergseitigen Futtermauer und einer talseitigen Stützmauer, beide in Mörtel, angelegt und schon über 2 Jahre fertig gestellt, als Ende April 1903, ohne vorherige Anzeichen und ohne daß in dieser Gegend je vorher, z. B. an der Kantonsstraße, eine Bewegung verspürt worden wäre und endlich ohne daß durch den Bahnbau das Gleichgewichtsverhältnis merklich gestört worden war, bemerkt wurde, daß oberhalb der Bahn, da wo die Halde an den Felswänden anschließt, Absitzungen eintraten und der Bahnkörper samt dem Bahngeleis, bis zum Maß von täglich 10 cm, talwärts verschoben wurde.

Sofort wurde erhoben, daß einige Wochen vorher, bei Beginn der Schneeschmelze, aus den oben erwähnten Seen von den dortigen Wiesenbesitzern — welche ihr Feld möglichst schnell trockenlegen wollten — ein vorher nicht vorhanden gewesener Graben gegen die Felswand hinausgezogen war, der die ganze Zeit hindurch einen starken Wassererguß in die Schutthalde

geführt hatte, so daß die darin liegenden lehmigen Verwitterungsprodukte, insbesondere in der Tiefe nahe der Felswand, in weitem Umfang aufgeweicht wurden.

Das nächste war, diesen Zufluß bleibend abzustellen und es wurde versucht, mit Schacht und Stollen der Lehne das Wasser wieder zu entziehen. Zugleich wurde die durch das Vorwärtsschieben zerrissene bergseitige Futtermauer der Bahn abgetragen und vorläufig durch eine einfüßige Erdböschung ersetzt, wobei das abgetragene Material am untern Ausbiß der Rutschung, unterhalb der Kantonsstraße, als Gegenlast vorgelegt wurde.

Obwohl sich zeigte, daß das Erdreich das Wasser schwammartig aufgenommen hatte und festhielt, so daß von einer raschen Entwässerung keine Rede sein konnte, so kam doch die Rutschung insofern schon Ende Mai unerwartet schnell zur teilweisen Ruhe, daß wenigstens die Vorwärtsbewegung des Geleises aufhörte, wobei indes die bergseitige Böschung oberhalb der Schienen fortdauernd in Bewegung blieb.

Die Bahnzüge konnten daher ungestört verkehren, wenn es gelang, das Vorschieben der oberen Böschung zu begrenzen.

Leider war es unmöglich, in größerer Höhe eine Entlastung der bewegten Masse vorzunehmen, weil an der steilen Lehne nirgends die Möglichkeit vorlag, Material abzulagern.

Es wurde deshalb in der Bahnböschung, 6 m über Bahnhöhe, eine Berme angelegt und in dieser Höhe die Bahn sowohl, als die parallel laufende Straße auf die ganze Länge der Rutschung durch ein Holzgerüst derart überbrückt, daß das abzuräumende Material mit Schubkarren hinübergeführt und unterhalb der Straße abgestürzt werden konnte. Diese Arbeit wurde mit 250 Arbeitern so gefördert, daß bei dem warmen Sommerwetter Mitte Juli die Bewegung sehr abnahm und Hoffnung vorhanden war, die Rutschung völlig zur Ruhe zu bringen.

Dann aber trat in der zweiten Sommerhälfte andauerndes Regenwetter ein und die Bewegung nahm Mitte August wieder dermaßen zu, daß der regelmäßige Zugsverkehr an zwei Regentagen gestört wurde. Infolgedessen blieb eine baldige Konsolidierung zweifelhaft und man entschloß sich zur Herstellung eines Felstunnels, der die Rutschstelle unterfährt, um den Betrieb für alle Zukunft sicher zu stellen. Dieser Tunnel wurde, wie schon erwähnt, lange vor dem Eintritt der Schneeschmelze des nächsten Frühjahres, am 28. Januar 1904 dem Betrieb übergeben.

Wäre der Sommer 1903 heiß und trocken gewesen, so hätte man vielleicht der Rutschung Herr werden können, denn seither hat die Bewegung keine nennenswerten Fortschritte gemacht.

c) Bergün-Albulatunnel.

12.684 km.

Das Talgefälle beträgt in dieser Strecke 77 %, das Bahngefälle von 35 ‰ erfordert daher eine starke Längenentwicklung. Da die Station Bergün auf Cote 1375,6 und die Station Preda auf 1792 liegt, so erfordert die Ersteigung der Höhendifferenz mit 35 ‰ eine Länge von 11,9 km, während die Tallänge nur 6,5 km beträgt und da die zwischenliegende Ausweiche Muot, 200 m lang, nur mit 15 ‰ steigt und in den Kehren die Steigung an 5 Orten auf 30 ‰ ermäßigt wird, so muß die Entfernung der Stationen Bergün und Preda 12,5 km betragen, die künstliche Entwicklung daher rund 6 km lang sein. Angesichts dieser Verhältnisse wurde auch die Frage der Anwendung einer Zahnstange erwogen, doch wurde in Anbetracht des großen zu erwartenden Verkehrs davon abgesehen, da die Beförderung der langen Personenzüge während der Sommermonate zu schwerfällig geworden wäre und das Terrain für eine Steilrampe sehr ungünstig war. Die Entwicklungsschleifen konnten dagegen so gelegt werden, daß Lawinen und Steinschlägen tunlichst ausgewichen wurde.

Die künstliche Bahnentwicklung (Tafel 3) findet in zwei Gruppen statt. Die erste befindet sich gleich oberhalb Bergün und besteht in einer Doppelschleife, indem die Linie zuerst dem Haupttal folgt, dann 1,5 km nach der Station in dem 486 m langen God-Tunnel zurückfährt, bis sie an die Hänge des Val Tuors gelangt und nun in dem Platz-Tunnel von 262 m

Länge neuerdings kehrend sich am Hange des Albulatales hoch hinaufzieht. In dieser Strecke liegen 3 Viadukte von 42, 72 und 70 m Länge. Die zweite Entwicklungsgruppe beginnt 3,3 km nach dem letztgenannten Kehrtunnel.

Zwischen den beiden Entwicklungsgruppen liegt zunächst der Tischbachviadukt, (Taf. 16) 100 m lang und 40 m hoch, ein kleiner Tunnel von 34,5 m Länge und die 117 m lange gemauerte Chaneletta-Galerie. In dem Zwischenraum zwischen diesen beiden Objekten liegen oberhalb der Bahn, bis zur Höhe von 2300 m hinauf sehr umfangreiche Schutzbauten gegen die in dieser Gegend alljährlich abgehenden zahlreichen Lawinen (Tafel 17 u. 18). Die Schutzbauten sind wegen ihres allgemeinen Nutzens mit eidgenössischer Subvention ausgeführt und übertreffen an Ausdehnung alle anderen Lawinen-Abbauten der Schweiz.

Nach der obenerwähnten Chaneletta-Galerie folgt unmittelbar die Ausweichstelle Muot, darauf ein 53 m langer Tunnel, der später durch eine 12,7 m lange Galerie verlängert wurde und nun beginnt die zweite Bahn-Entwicklung mit einem Talübergang über die Albula. nach welchem die Bahn am linken Ufer in den 661 m langen Rugnux-Tunnel eintritt, um bald nach demselben abermals das Albulatal zu übersetzen. Nun folgt ein zweiter Spiraltunnel (Toua 677 m lang), ein dritter Albula-Viadukt, eine Halbkreiswendung in offener Bahn mit einer gemauerten Lawinengalerie am linken Ufer, an den sich eine vierte Albulabrücke anschließt, worauf noch einmal die Hebung der Bahn in einem dritten Spiraltunnel (Zuondra 535 m lang) erfolgt und damit die Höhe gewonnen ist, von der in einfacher Linie die Station Preda erreicht werden kann.

Ehe die soeben geschilderte Entwicklungsanlage festgelegt wurde, sind zahlreiche Varianten studiert. Es boten sich natürlich die verschiedensten Lösungen dar, die hinsichtlich ihrer Bodenverhältnisse, Lawinen- und Steinschlaggefahr, ihrer Sonnenlage und Kosten gegeneinander abgewogen werden mußten. Die ganze Strecke hat, ohne die Schutz-Galerien, 2709 m Tunnel und 9 Viadukte mit 676 m Gesamt-Länge.

Außerdem sind 2 Lawinenschutzdächer aus Eisen (Tafel 9) und verschiedene Lawinen-Ablenkungen erstellt, unter welchen diejenige am Val Rots die größte ist.

In dieser Bahnstrecke wird Dolomit, Lias- und Bündnerschiefer angefahren.

d) Der Albula-Tunnel.

5864.5 m.

Bei km 85.818 beginnt der Albulatunnel, am Ende der Station Preda und bei km 91.683 endet derselbe am Anfang der Station Spinas.

Erstere Station hat die Höhe 1792, letztere 1818 m ü. d. Meer. Vom Eingangsportal steigt die Bahn zuerst 100 m lang mit 5‰, dann 3086 m lang mit 10‰, erreicht im Scheitel die Höhe 1823.5 und fällt dann 2679 m lang mit 2‰ gegen Spinas.

Der Tunnel durchfährt von Preda gegen Spinas (Tafel 30) 1095,5 m Kalk- und Tonschiefer der Trias, 111 m Zellendolomit, 52 m Casannaschiefer, 4346 m Albulagranit, 92 m Grundmoräne und 168 m feinen Granitsand mit großen Findlingen.

e) Albula-Tunnel-St. Moritz.

11.250 km.

Am Ausgang des Tunnels tritt die Bahn ins Beverintal, dessen Wasserlauf sich bei Bevers in den Inn ergießt. Die Station Spinas schließt sich unmittelbar an den Tunnel an und ist so tief gelegt, als das Hochwasser des Beverin gestattet. Die beiden Stationsgeleise überbrücken mittels Eisenkonstruktion den korrigierten und tiefer gelegten, 10 m breiten Bach.

Das Beverintal ist auf beiden Seiten von Rüfen und Lawinen bedroht, da aber der Talboden zunächst ziemlich breit ist und die Bahn in der Talmitte auf einer 4 bis 5 m hohen

Auffüllung liegt, welche aus dem Tunnelausbruch besteht, so wird die Bahn im oberen Teil nicht gefährdet. Erst etwa zwei Kilometer unterhalb der Station, wo die Bahnnivellette sich dem Talboden nähert, ist die Linie Lawinengefahren ausgesetzt und zwar zunächst bei km 94.0 von der rechten Seite, wo im Ursprungsgebiet einige Verbauungen notwendig wurden. Kurz nach dieser Stelle ist dann die Bahn, welche sich am rechten Ufer befindet, noch durch die linksufrige Lawine „della resgia" bedroht, welche von den Felsen der „Crasta mora" herabkommt und nach älteren Berichten in seltenen Fällen, das Beverinbett überschreitend, den rechtseitigen Hang erreicht, an welchem die Bahn liegt. Zum Schutz hiegegen ist an dieser Stelle talseits der Bahn eine 5 m hohe und 150 m lange Mörtel-Mauer erstellt. Die Lawine hat indes seit dem Baubeginn das rechte Ufer nicht erreicht.

Bald nachher überbrückt die Bahn wieder den Beverin mit einem 18 m weiten Stichbogengewölbe, wendet sich gegen die Ortschaft Bevers und legt sich, die tiefergelegte Kantonalstraße mit einer schiefen Eisenkonstruktion überschreitend, mit der Stationsanlage der Straße parallel, welche von Bevers nach Samaden führt.

Die Station Bevers liegt bei km 95.6 auf der Cote 1714; die Entfernung von der Station Spinas beträgt 3794 m und die Bahn ist mit 32 ‰ von Spinas um 104 m gefallen, ein Gegengefälle, mit welchem die verhältnismäßig geringe Länge des Albulatunnels erkauft ist.

Von Bevers wird später die Linie ins Unterengadin abzweigen.

Am Ende dieser Station überschreitet die Albulabahn nochmals den Beverin mittels einer flach gewölbten Granitbrücke von 14 m Weite, dann führt die Linie fast geradlinig nach dem nur 2.111 km entfernten Samaden, wo die Station bei km 97.7 1708.7 m über dem Meer liegt.

Zwischen Bevers und Samaden ist zur Verminderung der Erdarbeiten ein kleines Gegengefälle von 10 ‰ eingeschaltet und es liegt deshalb der tiefste Bahnpunkt auf der Südseite in der Meereshöhe 1705.1

Samaden, der Hauptort des Oberengadins, von wo eine Linie nach Pontresina abzweigen wird, hat eine entsprechend große Stationsanlage mit einer Reparaturwerkstätte erhalten.

Am 1. Juli 1903 wurde die Albulabahn nur bis Samaden eröffnet, weil die Bahn von Celerina bis St. Moritz wegen der späten Entscheidung über die Bahnhoflage von St. Moritz noch nicht vollendet war.

Die Bahneröffnung bis St. Moritz fand daher erst am 10. Juli 1904 statt, doch wurden Personenzüge gleich von Anfang an bis zur Station Celerina geführt.

Zwischen Samaden und Celerina beträgt die größte Steigung 16,5 ‰, die Entfernung 2611 m.

In dieser Strecke wird die Straße nach Pontresina am Ende der Station Samaden auf gleicher Höhe übersetzt, weil eine Ueberführung große Schwierigkeit gehabt hätte und die Straße sehr an Bedeutung verliert, wenn die Bahn von Samaden nach Pontresina eröffnet sein wird.

Bald darauf wird die Straße nach St. Moritz auf einer schiefen Brücke (mit Betongewölbe) über die Bahn geführt und es liegt die Bahn alsdann auf Trockenmauern bergseits parallel der Straße, bis sie zur Stationsanlage Celerina von der Straße rechts abschwenkt. Die Station Celerina liegt auf der Höhe 1733 bei km 100.28.

Infolge eines Kompromisses bezüglich der St. Moritzer Stationsanlage, welche die Rhätische Bahn ursprünglich am obern Ende des Sees auf der Höhe 1774,5, die Gemeinde St. Moritz hingegen in dem Wäldchen oberhalb der englischen Kirche in der Höhe 1800 anlegen wollte, ist dieselbe nunmehr in der Nähe des Innfalles auf der Höhe 1778 hergestellt. Eine allfällige Fortsetzung gegen Maloja soll später unter St. Moritz-Dorf in einem Tunnel durchgeführt werden, dessen Axe schon 1902 zum voraus festgelegt wurde. Die Entscheidung zugunsten dieser Station wurde vom hohen Bundesrat am 5. November 1901 getroffen und er-

forderte eine Umarbeitung des Projektes Celerina-St. Moritz mit 20 ‰ Steigung. Dies Projekt wurde am 15. April 1902 eingereicht und am 6. Juni genehmigt.

Die Entfernung der Stationen Celerina und St. Moritz beträgt 2615 m.

Gleich nach der Station Celerina wird der — früher schon in einer Schale gefaßte — Schlatteinbach mit einer 3 m weiten Eisenkonstruktion übersetzt und die Bahn zieht sich dann teils im Damm, teils in Einschnitten mit tiefen Schneegräben dem Hang entlang und unterfährt die Kantonsstraße, welche auf 200 m Länge verlegt wurde, in einer schiefen gewölbten Durchfahrt (Tafel 20.) Hierauf folgen, 500 m lang, erhebliche Erd- und Felsarbeiten bis die Bahn in den 449 m langen Charnadüratunnel eintritt, an dessen Ende sie sich in einer malerischen Felsenge des Inntales befindet. Nach einem Lehnenviadukt folgt hierauf der 114 m lange Argenteritunnel, an dessen Ausgang der Beginn der Station St. Moritz liegt. Die Station St. Moritz liegt 1778 m ü. M. bei km 102.9. Der tiefe Einschnitt dieser Station in Fels und nasser Moräne bildet den schwierigsten Teil der Strecke Celerina-St. Moritz.

Nach der Station folgt dann noch ein Ausziehgeleise, welches in der Richtung einer künftigen Fortsetzung der Bahn gegen Maloja gelegen ist und bis zu dem für solche Fortsetzung projektierten St. Moritzer Tunnel führt.

Unter diesem Ausziehgeleise befindet sich eine 12 m weite Durchfahrt für die Zufahrtsstraße, welche dem See entlang nach St. Moritz-Bad führt, während eine zweite Zufahrtsstraße sich vom Bahnhof-Vorplatz nach St. Moritz-Dorf hinauf entwickelt.

Diese beiden 10 m breiten Zufahrtsstraßen, welche eine elektrische Straßenbahn aufnehmen sollen, sind bis zu den ersten Häusern auf Kosten der Rhätischen Bahn erstellt, wobei indes die Kosten der Grundeinlösung von der Gemeinde getragen wurden.

f) Steigungs-, Richtungs-Verhältnisse und Stationen.

Die Länge der Albulabahn beträgt 61.752 m.

Von dieser Länge liegen in der Graden 35.623 m oder 57.7 %, in Krümmungen 26.129 m oder 42.3 %.

Der Minimal-Radius beträgt 120 m (nur ausnahmsweise — bei Tiefencastel und am Landwasser-Viadukt — ist R = 100 m; wobei die Steigung um 5 ‰ ermäßigt ist.)

Der mittlere Krümmungsradius beträgt 355 m.

Die horizontalen Strecken betragen:

Thusis-Filisur . .	3714	m
Filisur-Bevers . .	992	„
Bevers-St. Moritz	1829	„
zusammen	6535	„
oder	10,6 %	

Die geneigten Strecken betragen:

Thusis-Filisur . .	19461	m
Filisur-Bevers . .	30247	„
Bevers-St. Moritz	5509	„
zusammen	55217	m
oder	89.4 %	

Die größte Steigung beträgt:

Thusis-Filisur . .	25 ‰	auf	11748 m
Filisur-Bevers . .	35 ‰	„	17041 „
Bevers-St. Moritz	20 ‰	„	1836 „

Die mittlere Steigung beträgt:

Thusis-Filisur . .	16.6 ‰	auf	23175 m
Filisur-Bevers . .	27.2 ‰	„	31240 „
Bevers-St. Moritz	11.2 ‰	„	7337 „

Außer den — horizontal gelegten — Zwischenstationen: Sils, Solis, Tiefencastel, Surava, Alvaneu, Filisur, Bergün, Preda, Spinas, Bevers, Samaden und Celerina sind zwischen

Silisur und Bergün, sowie zwischen Bergün und Preda wegen allzugroßer Distanz Kreuzungsstationen eingeschaltet: Stuls und Muot, von denen erstere zugleich das Bergdorf Stuls bedient. Diese beiden Ausweichstellen liegen in einer Steigung von 15 ‰.

Die Stationsentfernungen sind folgende:

Nr.	Station	Entfernung	
1.	Thusis*		
2.	Sils	1900 m	
3.	Solis	6252 „	
4.	Tiefencastel*	4616 „	
5.	Surava	4179 „	
6.	Alvaneu	2656 „	
7.	Silisur*	3572 „	
8.	Stuls	5834 „	
9.	Bergün*	2945 „	
10.	Muot	6061 „	
11.	Preda*	6518 „	
12.	Spinas*	6087 „	(Albulatunnel 5864.5 m lang)
13.	Bevers	3794 „	
14.	Samaden*	2111 „	
15.	Celerina	2611 „	
16.	St. Moritz*	2615 „	

Die gesperrt gedruckten Stationen sind Wasserstationen.
Die mit einem Stern versehenen Stationen haben Drehscheiben.

V. Ausführung des Unterbaues.

A. Die Bauten außerhalb des Albulatunnels.

1. Allgemeines.

Die Aufstellung der definitiven Bauprojekte und Voranschläge wurde derart gefördert, daß in dem Zeitraum von März bis Juli 1900 die vorschriftsmäßige Planauflage in den Gemeinden erfolgen konnte und während der Planauflage erfolgte gleichzeitig die Ausschreibung der Unterbauarbeiten Thusis-Albulatunnel und Albulatunnel-Celerina, wobei zu bemerken ist, daß die Anschlußstrecken zu beiden Seiten des großen Tunnels, je zirka 2,5 km lang, bald nach der Tunnelvergebung durch Nachtragsvertrag an die Tunnelunternehmung Ronchi & Carlotti übergeben und auch später, zur Zeit des Regiebaues, von der Tunnelbauleitung vollendet wurden.

Die Vergebung der Arbeiten fand in Form eines Abgebotes von den Einheitspreisen des Kostenvoranschlages statt, mit Ausnahme der Vergebung des Albulatunnels, bei welchem die Unternehmer selbst die Einheitspreise aufstellten. Erstere Vergebungsart wurde deshalb gewählt, weil man die Arbeiten für je ein Los oder höchstens zwei Lose an verschiedene Unternehmer zu vergeben gedachte und es bei selbständiger Preisbildung der Unternehmer unter so eigenartigen Bauverhältnissen, wie sie hier vorlagen, unvermeidlich gewesen wäre, daß die Preise der verschiedenen Abteilungen auf ganz verschiedenen Grundlagen beruhten und eine daraus folgende ungleiche Vergütung der gleichen Arbeit zu großen Widersprüchen hätte führen müssen.

Im Juli 1900 wurden die Unterbauarbeiten wie folgt vergeben:

Los 1 und 2 an Munari, Cayre & Marasi, mit 11 resp. 6 % Abgebot.
„ 3 „ Joh. Caprez mit 7 % Abgebot.
„ 4 „ 5 „ Müller und Zeerleder mit 7 resp. 4 % Abgebot.
„ 6 „ 7 „ Aebli, Hünerwadel und Maternini mit 3 % Abgebot.

Zugleich wurde die Herstellung der 80 m weiten Eisenkonstruktion der Rheinbrücke bei Thusis an die Firma Bell & Cie. in Kriens zum Preis von 460 Fr. per Tonne übertragen und es folgte dann noch im November die Vergebung des zehnten Loses von Bevers bis Celerina an Noli & Zanotta mit 12 % Abgebot.

Die Unterbauarbeiten von Celerina bis St. Moritz konnten erst 1902 an Huder & Peduzzi mit 9 % Abgebot vergeben werden.

Die von der Bauleitung eingesetzten Einheitspreise waren auf Grund der Ergebnisse der zweijährigen Ermittlungen für jedes Los besonders berechnet und haben sich mit Ausnahme einiger Fälle von ganz unerwarteter Schwierigkeit, die sich bei manchen Fundierungen und in einzelnen Tunneln einstellten, als zutreffend erwiesen. Für den Kubikmeter der Erd- und Felsarbeiten wurde für jedes Los auf Grund der Sondierungen und der Massenverteilung ein unveränderlicher Durchschnittspreis ermittelt, welcher auch die Transportvergütung enthielt, um dadurch den sonst üblichen Abrechnungsweitläufigkeiten betreffs Bodenart und Transportweite auszuweichen. Die Ausführung erfolgte nach den Normalien, welche auf Tafel 4 und 5 dargestellt sind.

Der Lichtraum der kleineren Tunnel wurde etwas kleiner gewählt, als beim Albulatunnel und hat zur größten Breite 4,3 m, zur größten Höhe 4,7 m, so daß die Fläche des Lichtraumes 17,89 m² beträgt. Hinsichtlich der Ausführung der Tunnel mag schon hier erwähnt werden, daß Type II (Tafel 4) nicht zur Anwendung kam, teils weil sie ein sehr geschlossenes Gestein oder annähernd horizontale Schichtung voraussetzt, teils weil sie bei den Ausbruchsarbeiten einen Profilwechsel erfordert, welcher eine empfindliche Arbeitsstörung bedeutet, sofern die abweichende Type nicht auf große Längen gesichert ist. Auch da, wo nach der Gesteinsbeschaffenheit keine Mauerung nötig erschien, wurde doch der Raum für eine allfällige spätere Verkleidung von 0,3 bis 0,4 m Stärke sofort ausgebrochen. Die Mauerung der Verkleidungstype (I^a) geschah in rauhem, der stärkeren Type in häuptigem Bruchsteinmauerwerk, bei beiden Typen mit Mörtel aus hydraulischem Kalk. Nur bei Wasserzudrang wurde mit Portlandzement gemauert.

In Abständen von 50 m wurden auch bei den kleineren Tunneln, beidseitig, 2 m weite Nischen angeordnet. Zur Wasserableitung dient ein oben durchlöchertes Zementrohr von 0,3 m Weite, welches indeß in einzelnen trockenen Tunneln ganz entfiel.

Die in den einzelnen Tunneln zur Anwendung gebrachten Profile sind auf Seite 32 zusammengestellt. Danach sind bei einer Gesamtlänge der kleinern Tunnel von 10 372 m 2437 m oder 23 % unverkleidet geblieben; die größte unverkleidete Strecke hat der Solistunnel mit 665 m auf 986 m Länge.

Die Einheitspreise waren festgesetzt für den Laufmeter der verschiedenen Typen, sowie für den Kubikmeter der einzelnen Arbeiten bei allfälligen Typenänderungen. Portale und Galerien sind mit den Preisen der Kunstbauten verrechnet.

Die Anordnung der anzuwendenden Type und insbesondere die Entscheidung, ob gemauert werden müsse oder ob der Fels auch ohne Verkleidung hinreichende Sicherheit biete, geschah auf Grund mehrfacher gemeinschaftlicher Besichtigung der Bauleitungsorgane. Wo Wasser auftrat, wurde in der Regel auch bei sonst guter Felsbeschaffenheit Mauerung angeordnet, insbesondere um die Eisbildung in der First und im Geleise möglichst zu verhüten.

Die Herstellung des Richtstollens geschah 2 schichtig, nur beim Solistunnel und später beim Glatscheras-Tunnel wurde 3 schichtig gearbeitet. In ersterem Fall wurde ein monatlicher Fortschritt von zirka 30 m, in letzterem von zirka 40 m erreicht. An Mauerung wurden im Monat von einem Angriff aus bis zu 100 m geleistet.

Die Baumethode war bei allen kleineren Tunneln die belgische, an welche die Mineure nun einmal gewöhnt sind, weil sie an Holz und Stollenarbeit zu sparen hoffen. Der Vorteil ist indeß zweifelhaft, denn im Fels braucht man überhaupt wenig Holz und im Albulatunnel hat sich gezeigt, daß der Sohlenstollenbetrieb mit Firstschlitz durchaus nicht teurer ist als der Firststollenbetrieb mit Sohlschlitz. Bei solchen Bahnen überdies, wo Tunnel und Viadukte häufig wechseln, hat der Belgische Betrieb noch den großen Nachteil, daß erst nach völliger Tunnelvollendung die Gleisverbindung in Bahnhöhe ermöglicht ist, während der Sohlstollen sofort einen durchlaufenden Verkehr mit Baumaterial gestattet.

Stütz- und Futtermauern sind womöglich mit 1/3 Anzug aus Trockenmauerwerk hergestellt. Die Höhe der Trockenmauern durfte aber höchstens 6 bis 8 m betragen. Bei Mauern von größerer Höhe wurde der untere Mauerteil in Mörtel gelegt.

Mörtelmauern erhielten meistens 1/5 Anlauf, ausnahmsweise kommen an steilen, soliden Felswänden Mauern mit 1/20 Anlauf vor, womöglich mit Sparbögen.

An den Halden sind statt der Stützmauern überall mit großem Vorteil Lehnenviadukte angewendet, die sicherer zu fundieren sind und weniger kosten, sobald eine Stützmauer in Mörtel höher als 6—8 m wird. Mit Hilfe solcher Lehnenviadukte sind betriebsgefährliche, tiefe Felseinschnitte fast ganz vermieden.

Um im Winter die Arbeit des Schneepfluges zu erleichtern, sind alle Einschnitte, mit geringen Ausnahmen, talseits in Grabentiefe ausgeschlitzt und insbesondere in der schneereichen hochgelegenen Strecke Bergün-St. Moritz sind die Einschnittsgräben an bedrohten Stellen etwa

2 m breit und ebenso tief hergestellt. Der größte Teil dieses Bahnteiles liegt aber auf Dämmen und Viadukten oder im Tunnel.

Die Bestimmungen für die Herstellung der Kunstbauten und sonstigen Mauerwerke schließen sich denjenigen der Gotthardbahn an.

In Verwendung kam fast ausschließlich das „häuptige Bruchsteinmauerwerk" in Mörtel von hydraulischem Kalk, wobei die Mörtelmischung aus 400 kg Kalk auf 1 m³ Sand bestand.

Auch die Gewölbe bis zu 12 m Weite wurden mit Ausnahme der Stirnen aus Bruchsteinmauerwerk erstellt, bei Gewölbeweiten von 12 bis 30 m wurden Spitzsteine und für größere Weiten Schichtsteine verwendet.

Die Stirnen der Gewölbe wurden als Schichtsteine bearbeitet, ebenso die Kanten der Brückenpfeiler. Die Mauerwerkspreise waren, dem größern Kalktransport und den klimatischen Verhältnissen entsprechend, in den obern Losen höher als in den untern und wurden bei sehr hohen Pfeilern um 1 bis 2 Fr. pro m³ erhöht.

Die Bausteine sind — mit Ausnahme der Deckquader — dem Bahngebiet oder nahe gelegenen Brüchen entnommen und sind größtenteils Kalksteine von verschiedener Beschaffenheit und geologischer Herkunft. Dieselben sind durchwegs schwer, hart und unvergänglich. Das beste und lagerhafteste Steinmaterial ergaben die harten Kalksteinschichten im Bündnerschiefer des Schyn, aus welchen auch die Solisbrücke erstellt ist. Auch in der Nähe des Schmittentobel- und Landwasserviadukts, welche zusammen 12,000 m³ Mauerwerk erforderten, konnte im Kalkdolomit der linken Talseite des Landwassers ein ergiebiger Steinbruch eröffnet werden.

Zwischen Km. 68 und 71 ist der anstehende Fels Verrucano, der im Ganzen gute Bausteine für die Bauwerke am Surmin- und Stulsertobel lieferte, dessen rote Varianten indes verwitterbar sind und nachträglich ausgewechselt werden mußten.

Wenig lagerhaft erwiesen sich der Hauptdolomit und die Triaskalke, aus denen die meisten Bauwerke oberhalb Bergün hergestellt werden mußten, welche daher auch eine, von den weiter unten liegenden Bauwerken verschiedene, unregelmäßige Gesichtsfläche zeigen.

Im Engadin kam vorzugsweise Granit und Gneis zur Verwendung.

Geeignetes Material zu Deckplatten fehlte im Bahngebiet gänzlich. Nur die Konsolen der Viadukt-Abdeckung wurden aus Steinen des Bahngebietes erstellt. Die Deckplatten selbst kamen zum Teil aus Osogna (im Tessin), zum größeren Teil aber aus Andeer an der Splügenstraße, wo der Roffnagneis sehr schöne Platten liefert, die aber weniger leicht zu spalten sind, als die Gneise des Tessin.

Der Sand wurde im Schyn in vorzüglicher Qualität aus Moränelagern gewonnen, weiter oben aus den Ablagerungen der Wasserläufe. Zwischen Filisur und Stuls aber wurde an der hochgelegenen Linie der Sand maschinell aus festen Kalksteinen hergestellt. Für die Bauten oberhalb der Ausweiche Muot hatte die Unternehmung — um an Transportkosten des Sandes zu sparen — von einer großen Sandablagerung bei Naz ein offenes Holzgerinne von ca. 0,2 m Breite und Höhe talabwärts bis zur untersten Albulabrücke geführt, in welcher der Sand mit Wasser bis in die Nähe der grade im Bau befindlichen Bauwerke hinuntergespült wurde; eine Anordnung, die sich gut bewährt hat.

Der hydraulische Kalk und der Portlandzement kamen größtenteils von Unterterzen am Wallensee und zwar in ausgezeichneter Qualität, die durch wöchentliche Proben in der Zürcher Festigkeitsanstalt fortwährend kontrolliert wurde.

Für alle Mauerwerke, und besonders die zahlreichen Viadukte wurden die Dimensionen auf Grund von graphischen Kräfteplänen ermittelt, und tunlichst in Normalplänen (Tafel 4 u. 6) zusammengestellt.

Mit Rücksicht auf den Schneepflug wurde die Weite zwischen den Geländern zu 4,0 m bestimmt. Mit Hilfe der vorragenden Deckplatten mit Konsolen beträgt aber die eigentliche Mauerwerksbreite oben nur 3,6 m, sofern die Brücke in der Geraden liegt. In Kurven sind die Viadukte polygonal gemauert und es mußte also jede Oeffnung gemäß dem Pfeil des betreffenden Halbmessers der Bahn verbreitert werden. Soviel als möglich sind daher die

größeren Oeffnungen in die Gerade gelegt. Bei der Landwasserbrücke, wo dies nicht möglich war, mußte z. B. die Mauerwerksbreite bei 20 m Weite und 100 m Radius — schon um 0,5 m vermehrt werden; sonst würde man bei solcher Höhe größere Oeffnungen angewendet haben. Bei der polygonalen Form solcher Viadukte erhalten natürlich die Pfeiler im Grundriß eine Keilform und es muß das normale Maß der Pfeilerstärke nicht in der Bahnaxe, sondern an der schmalen Seite des Keiles zur Anwendung kommen.

Es wurde angenommen, daß Bruchsteinmauerwerk im allgemeinen bis zu 15 kg/cm², bei sehr guter Ausführung bis zu 20 kg/cm² belastet werden dürfe. Bei den kleineren Gewölben bis zu 12 m Weite beträgt die Belastung 10,5 kg/cm²; die größeren Gewölbe aus Spitzstein sind bis 18,7 kg/cm² belastet und bei dem Gewölbe der Solisbrücke erhält das Schichtenmauerwerk einen Druck bis zu 22,8 kg. Der größte Pfeilerdruck kommt bei den hohen Pfeilern der Landwasserbrücke mit 18,8 kg vor, wobei Bremskraft, Winddruck usw. berücksichtigt sind.

In Abständen von etwa 10 m sind in den hohen Viaduktpfeilern durchgehende Quaderschichten von 0,5 m Höhe angeordnet. Wo aber solche Quader schwer erhältlich waren, wurde statt dessen nur ein Quaderkranz angewendet, der Stampfbeton umschließt.

Die Pfeiler haben in der Regel in der oberen 10 m-Zone $^1/_{40}$ Anlauf, dann folgt $^1/_{30}$ und $^1/_{20}$.

Mit Ausnahme der beiden Beverinbrücken und einigen Durchfahrten sind alle Bögen Halbkreisgewölbe.

Die Ausführung der Gewölbe bis zu 20 m Spannweite erfolgte in üblicher Weise von den Kämpfern aus unter entsprechender Belastung des Lehrgerüstscheitels. Nur bei dem Landwasserviadukt wurden die 20 m weiten Gewölbe von vier Punkten in Angriff genommen und gleichzeitig an drei Punkten geschlossen.

Die Gewölbe der Müstailbrücke (27 m weit) und der Muttentobelbrücke (30 m weit) sind unter Verwendnng von Portlandmörtel in zwei Ringen ausgeführt, die ebenfalls an je drei Stellen geschlossen wurden.

Der gleiche Vorgang, jedoch unter Anwendung von drei Ringen, fand bei Erstellung des 42 m weiten Bogens der Solisbrücke statt. Der erste dieser drei Ringe wurde am 10., die beiden andern am 20. und am 31. Mai 1902 geschlossen. Die während der Wölbung des ersten Ringes eingetretene Senkung des Lehrgerüstes betrug im Scheitel 49 mm und an den Bruchfugen 20 und 25 mm.

Nach Schluß des ganzen Gewölbes wurde eine weitere Senkung im Scheitel von 2 mm und an den Bruchfugen von 10 mm erhoben. Bei der drei Wochen später vorgenommenen Lüftung der Gerüste ist keine weitere Senkung eingetreten.

Aehnliche Verhältnisse ergaben die übrigen Gewölbe.

Bezüglich des Ausrüstens war angeordnet, daß ein Ablassen der Lehrgerüste erst vorzunehmen sei, wenn der Mörtel eine genügende Festigkeit erlangt hatte, um die im Gewölbe auftretenden Spannungen aufzunehmen, was bei Gewölben von 12—15 m Spannweite bei trockenem Wetter in 5—6 Tagen der Fall war.

Die Lehrgerüste waren sorgfältig berechnet und hergestellt und meist freitragend konstruiert. Bei den größeren Spannweiten waren die Lehrgerüste auf Sandtöpfen aufgestellt, bis zu 20 m Weite wurden aber meist nur Keile angewendet. Besondere Schwierigkeiten oder Uebelstände bei der Ausschalung fertiger Gewölbe haben sich nirgends gezeigt. Der monatliche Fortschritt einiger Viaduktbauten ist auf Tafel 20 dargestellt.

Die Belastung des Untergrundes beträgt je nach der Bodenart 2,5—6,5 kg pro cm². Wo immer möglich wurde auf Fels fundiert, selbst wenn hierzu sehr tiefe Schächte notwendig waren; wo indes der Fels nicht erreicht werden konnte, ging man immerhin so tief, daß an Halden ein Vorland von mindestens 2—3 m gewonnen wurde und nahm eine erhebliche Fundamentverbreiterung vor.

2. Besondere Ausführungen und Vorkommnisse.

Im folgenden sollen, der Bahnlinie folgend, einige besondere Ausführungen und Vorkommnisse näher beschrieben werden.

a) Die Eisenkonstruktion der Rheinbrücke bei Thusis (Tafel 11)

von Ing. Fritz Ackermann in Kriens.
(Schweiz. Bauzeitung Band XXXIX.)

Die Eisenkonstruktion ist nach eigenem Entwurf und Berechnung von der Brückenbauanstalt Theodor Bell & Cie. in Kriens ausgeführt. Im Winter 1900/1901 wurde das Montierungsgerüst erstellt. Die Montierung dauerte von Anfang Mai bis Mitte August 1901 und am 10. Dezember fand die Brückenprobe statt.

Allgemeine Beschreibung.

Die Brücke liegt in einer Steigung von 25 ‰. Sie hat eine Stützweite von 81,9 m und von Mitte zu Mitte Hauptträger gemessen eine Breite von 5,0 m. Die Höhe der Fahrbahn über der Flußsohle beträgt in der Mitte der Brücke gemessen etwa 23,0 m.

Ihre Konstruktion weist drei Neuerungen auf, die bisher in der Schweiz noch nicht zur Ausführung gelangt sind, und zwar:

1. Das Weglassen von sämtlichen Zwischenquerverbindungen bei oben liegender Fahrbahn und die Erzielung der erforderlichen Quersteifigkeit allein durch eine zweckmäßige Ausbildung der Horizontalverbände, wie aus der Innenansicht der Brücke (Abb. 4) ersichtlich ist.
2. Die Anwendung des statisch bestimmten, doppelten Netzwerkes auf die Hauptträger.
3. Die längsbewegliche und zentrische Lagerung der Längsträger auf den Querträgern und das Festhalten der Längsträger nur in der Brückenmitte.

Als Hauptträger wurde ein Halbparabelträger (Abb. 3) gewählt, dessen geometrisches Netz an den Enden 5,0 m und in der Mitte 8,0 m hoch ist.

Die Streben der Hauptträger bilden ein doppeltes Netzwerk, das durch Zusammenführen der Streben am Brückenende und Einsetzen eines Vertikalstabes in der Brückenmitte zu einem statisch bestimmten, starren Stabwerke gemacht wurde. Zur Erzielung der Starrheit hätte der mittlere Vertikalstab auch an irgend einer anderen Stelle des Stabsystemes als Verbindung zweier Eckpunkte der durch die Streben gebildeten Vierecke angeordnet werden können, also auch als horizontale Verbindung der Kreuzungspunkte zweier Strebenpaare.

Entsprechend dem auf der ganzen Brückenlänge konstant durchgeführten Querträgerabstande von 3,15 m sind die Obergurte durch Zwischenpfosten mit den Kreuzungspunkten der Streben verbunden. Die Konstruktion und Querschnitte der Hauptträger sind aus den Abbildungen 5, 6 und 7 ersichtlich.

Die beiden Hauptträger sind durch zwei in der Ober- und Untergurtebene liegende horizontale Windträger (Abb. 8 u. 9), sowie durch zwei kräftige Endquerverbindungen zu einem räumlich starren Fachwerke verbunden, wodurch die Zwischenquerverbindungen ersetzt sind. Die Pfosten des oberen Windträgers werden durch die Querträger gebildet, auf denen die Fahrbahn liegt.

Die Pfosten des untern Windträgers stützen einen über die ganze Brückenlänge sich erstreckenden Revisionssteg (Abb. 4, 7 u. 9). Dieser Revisionssteg ist an jedem Brückenende durch eine eiserne Treppe von der Fahrbahn aus zugänglich gemacht.

Die Längs- bezw. Schwellenträger der Fahrbahn laufen kontinuierlich über die Querträger weg. Dieselben sind auf sämtlichen Querträgern längsverschieblich gelagert und nur in der Brückenmitte fest mit einem sogenannten Bremskrafttäger, der die in der Fahrbahn wirkenden Längskräfte auf die Hauptträger überträgt, verbunden (siehe Abb. 8, 10 u. 11).

Durch diese Anordnung sollen gegenüber der sonst üblichen Lagerung der Längsträger zwischen den Querträgern und der festen Vernietung der Längsträger mit den Querträgern nachfolgende Vorteile erzielt werden:

1. Zwängungsspannungen zwischen Hauptträgerobergurt, Querträger und Längsträger, die bei der großen Stützweite der Brücke, infolge der Längenänderungen der Hauptträgergurtungen bei Belastung der Brücke, eine beträchtliche Größe annehmen, werden wesentlich vermindert.

2. Die Querträger werden durch die punktförmige Lagerung der Längsträger centrisch belastet. Sofern von den Reibungskräften abgesehen wird, haben sie nur die in die Querträgerebene fallende Lastkomponente aufzunehmen, während die in der Fahrbahnebene wirkenden Kräfte (Zug- und Bremskräfte) durch einen besonderen Bremskraftträger in Brückenmitte direkt auf die Hauptträger übertragen werden.

3. Lockerungen von Anschlußnieten, wie sie bei zwischen den Querträgern liegenden Längsträgern so häufig vorkommen, sind ausgeschlossen.

4. Die Durchbiegung der kontinuierlichen, über die Querträger laufenden Längsträger ist verhältnismäßig geringer und der wellenförmige Verlauf der elastischen Linie der belasteten Längsträger gibt weniger Veranlassung zu Stoßwirkungen, als dies bei zwischen die Querträger eingelegten Einzelträgern der Fall ist.

Ein besonderer Horizontalverband (Abb. 12) dient dazu, die beiden Längsträger zu verbinden und die horizontalen Seitenkräfte an jedem Querträger direkt auf den oberen Windträger zu übertragen.

Der obere Windträger (Abb. 8) ist als ein sogenanntes „Fachwerk mit halben Diagonalen“ ausgebildet. Durch diese Anordnung ergeben sich kurze Streben und wird zugleich der gedrückte Obergurt der Querträger in seiner Mitte wirksam gegen Seitenkräfte gehalten.

Der obere Windträger gibt seine Kräfte vermittelst der Endquerverbindungen (Abb. 6) an die Brückenlager ab.

Es war vorgeschrieben, die untern Querriegel der beiden Endquerverbindungen behufs eventuell später notwendig werdender Hebungen der Brücke so stark auszubilden, daß mittels unter diese Querriegel angesetzter Winden die ganze Brücke gehoben werden könne. Wie aus Abbildung 6 ersichtlich ist, wurden zur Entlastung dieser Querriegel die Streben der Endquerverbindungen zur Kräfteübertragung mit herangezogen.

Die Streben des unteren Windträgers (siehe Abb. 7 u. 9) werden durch die Längsträger des Revisionssteges gegen Ausbiegungen und Schwingungen gehalten. Der untere Windträger, dessen Endstreben ebenfalls zu einer Spitze zusammenlaufen, überträgt seine Kräfte durch Vermittelung des untern Endquerriegels direkt auf die Brückenlager.

Bei der Probebelastung der Brücke am 10. Dezember 1901 kam der von obigen Neuerungen erhoffte Vorteil deutlich zum Ausdruck. Dank der sorgfältigen und zweckmäßigen Ausbildung der Horizontalverbände und Endquerverbindungen betrugen die Seitenschwankungen in der Brückenmitte beim Obergurt (Fahrbahnebene) nach jeder Seite 1½ mm, zusammen also 3 mm, beim Untergurte nach jeder Seite 1 mm, somit zusammen 2 mm. Irgendwelche Verschiebung des rechteckigen Brückenquerschnittes trat nicht ein.

Soweit es die knapp bemessene Zeit erlaubte, wurden bei der Probebelastung auch Spannungsmessungen vorgenommen, und zwar beim Obergurtknoten 3, der sich in bezug auf Nebenspannungen rechnungsgemäß am ungünstigsten verhält; dann in der Mitte des Obergurtstabes zwischen den Knoten 3 und dem Zwischenknoten 3/4. Die Spannungen wurden mit einem Spannungsmesser „System Mantel“ jeweils in der oberen und unteren Faser des Gurtquerschnittes abgelesen. Das Resultat dieser Messungen ließ erkennen, daß beim vorliegenden Trägersysteme (doppeltes Netzwerk ohne Pfosten) die Nebenspannungen nur gering sind, und die berechneten Werte derselben wurden in Wirklichkeit lange nicht erreicht.

Die Verschiebung der längsbeweglich auf den Querträgern gelagerten Längsträger konnte deutlich beobachtet werden; dieselbe nahm mit dem Vorrücken des Belastungszuges gegen die Brückenmitte ganz allmählich zu und beim Verlassen des Zuges in gleicher Weise ab. Die größte Verschiebung wurde am Brückenende mit 3,5 mm gemessen. Diese Verschiebung stimmt mit der berechneten Verkürzung des halben Hauptträger-Obergurtes überein.

Die größte gemessene Einsenkung der Hauptträger in Brückenmitte betrug 29 mm, während die Einsenkung für den Belastungszug der Probebelastung zu 34 mm berechnet worden war. Die bleibende Einsenkung der Hauptträger ergab nur 1,9 mm.

Statische Berechnung der Eisenkonstruktion.

Der Berechnung der Brücke wurde eine ständige Last von 3,8 t pro Meter Brücke und eine zufällige Belastung durch einen Belastungszug mit drei Lokomotiven der Rhätischen Bahn von je 49,5 t und angehängten Güterwagen von je 14,62 t Gesamtgewicht zugrunde gelegt.

Die kontinuierlich über die Querträger laufenden Längsträger wurden als kontinuierliche Träger auf elastisch senkbaren Stützen berechnet und dabei auch auf die vertikalen Zusatzbelastungen (durch Winddruck auf den Belastungszug) Rücksicht genommen. Bei den Stößen der Längsträger wurde das volle Trägheitsmoment des Querschnittes durch die Stoßdeckung ersetzt. Die Hauptträger wurden vermittelst Einflußlinien, die für jeden einzelnen Stab aufgezeichnet wurden, berechnet.

Da von verschiedenen Seiten gegen die Ausführung der Hauptträger als doppeltes Netzwerk ohne Pfosten, wegen Auftretens zu großer Nebenspannungen, Bedenken geäußert worden waren, entschloß sich der Verfasser des Projektes, die Nebenspannungen, die infolge der steif vernieteten Knotenpunkte auftreten, zu berechnen.

Zur Bestimmung der Nebenspannungen für einen gegebenen Belastungsfall werden bekanntlich die Aenderungen der Stablängen und die Winkeländerungen berechnet, die ein entsprechendes Fachwerk mit gelenkigen Knoten erfahren würde. Es wird dann angenommen, daß das steifknotige Fachwerk sich dieser für das gelenkknotige Fachwerk berechneten veränderten Knotenpunktslage anpassen müsse und es werden die Biegungsmomente und Biegungsspannungen berechnet, welche die Stäbe des steifknotigen Fachwerkes erleiden, wenn sie gezwungen werden, die für das gelenkknotige Fachwerk berechneten Winkeländerungen anzunehmen.

Bei Trägern mit doppeltem Strebenzuge ohne Pfosten gibt diese Annahme entschieden zu ungünstige Werte, da die Lastverteilung auf die beiden Stabzüge infolge der steifen, durchlaufenden Gurtungen denn doch eine viel gleichmäßigere ist, als bei einem gleichen Fachwerke mit gelenkförmigen Knotenpunkten.

Die unter der erwähnten Annahme berechneten Nebenspannungen eines Doppelfachwerkes sind daher Größtwerte, die je nach der Konstruktion und Ausführung des betreffenden Trägers in Wirklichkeit mehr oder weniger unterschritten werden. Sie geben dem Konstrukteur Fingerzeige, wie er vorzugehen hat, damit diese Spannungen möglichst klein werden. In diesem Sinne wurden beim vorliegenden Träger die Nebenspannungen berechnet, unter der bereits erwähnten Annahme, daß das steifknotige Fachwerk denjenigen Knotenpunktsänderungen sich anpassen müsse, die ein entsprechendes gelenkknotiges Fachwerk annehmen würde.

In Abbildung 14 sind die Knotenmomente, bezw. die Biegungsmomente der in den Knoten eingespannten Stabenden und in Abbildung 15 die entsprechenden Biegungsspannungen für die eine Trägerhälfte graphisch dargestellt und zwar für Eigengewichtsbelastung plus Zugbelastung. Für die Einbeziehung der Verkehrslast wurde diejenige Zugstellung gewählt, welche die größte Durchbiegung des Hauptträgers erzeugt, gleichzeitig aber auch für die Obergurtknoten 5,3 und 1 die größten Nebenspannungen verursacht.

In der Werkstätte wurden sämtliche Stäbe um das Maß ihrer Verkürzung, bezw. Verlängerung durch die ständige Last länger, bezw. kürzer hergestellt, dabei jedoch die Dreieckswinkel des spannungslosen Stabnetzes in den Knotenpunkten beibehalten; es entstehen so für das unbelastete Stabnetz Nebenspannungen, die durch die Belastung des Trägers verschwinden und theoretisch nach Aufbringen der ständigen Last gleich Null werden.

Die Knotenmomente und Nebenspannungen, wie sie in der Abbildung 14 und 15 dargestellt sind, wurden zuerst unter Berücksichtigung sämtlicher steifen Knotenpunktsverbindungen, also auch mit Rücksicht auf die feste Vernietung der Strebenkreuzungspunkte berechnet. Hierauf

wurden zum Vergleiche mit dieser genauen Berechnung die Knotenmomente der Gurtungen unter der Annahme ermittelt, daß die beiden Gurtungen mit den Auflagerpfosten einen steifen Rahmen bilden, an dem die Füllungsstäbe gelenkartig angreifen. Diese Annahme ist überall da zulässig, wo die Streben wie im vorliegenden Falle im Verhältnis zu den Gurtungen sehr schmal sind, das heißt in der Hauptträgerebene ein kleines Trägheitsmoment besitzen.

Die nach dieser Annäherung ermittelten Knotenmomente der Gurtungen stimmen mit den genau berechneten fast vollständig überein. Dieselben sind für den Obergurt in Abbildung 14 punktiert eingetragen.

Da die Berechnung der Winkeländerungen, die der Berechnung der Knotenmomente vorangehen muß, namentlich bei Fachwerken mit gekreuzten Streben sehr umständlich ist, wurden hier die Winkeländerungen graphisch bestimmt, das heißt, direkt dem Williotschen Verschiebungsplane entnommen.

Diese Methode zur Berechnung von Winkeländerungen, sowie die Art und Weise, wie nach Kenntnis der Winkeländerungen die denselben entsprechenden Knotenmomente bestimmt wurden — deren Beschreibung hier zu weit führen würde — ermöglichten es, verhältnismäßig rasch für sämtliche Knotenpunkte des Trägers die Einflußlinien der Knotenmomente aufzuzeichnen. Diese Einflußlinien geben nun Aufschluß darüber, welche Knoten sich in Bezug auf Nebenspannungen am ungünstigsten verhalten und bei welcher Belastung der Brücke die Nebenspannungen eines Knotenpunktes zum Maximum anwachsen.

Als charakteristisch für das vorliegende, statisch bestimmte Doppelfachwerk mit einem Vertikalstab in der Trägermitte geht aus diesen Einflußlinien hervor, daß eine Belastung derjenigen Brückenhälfte, welcher der zu untersuchende Knoten nicht angehört, fast gar keinen Einfluß auf die Nebenspannungen dieses Knotens hat und daß Lasten direkt über dem betreffenden Knoten und über den Nachbarknoten den größten Einfluß auf die Nebenspannungen ausüben.

Es wurde nun noch untersucht, welchen Einfluß die kontinuierlichen Längsträger, sowie die steifen, durchlaufenden Obergurte auf die Lastverteilung, die Stabkräfte und die Nebenspannungen haben.

Wird nämlich über irgend einem Knoten auf die Längsträger eine Einzellast gelegt, so wird diese Last nicht — wie bei der Berechnung der Stabkräfte und der Nebenspannungen unter Voraussetzung gelenkiger Knotenpunkte angenommen wurde — allein in dem betreffenden Knotenpunkte als Einzellast auf das Trägernetz einwirken, sondern es wird sich diese Einzellast infolge der Kontinuität der Längsträger und Hauptträger-Obergurte auf mehrere Knotenpunkte verteilen.

Durch diese lastverteilende Wirkung werden die Stabkräfte und Nebenspannungen geringer ausfallen, als sie unter der Annahme gelenkförmiger Knoten berechnet wurden.

Nach der Theorie des kontinuierlichen Trägers auf elastisch senkbaren Stützen wurde nun für die Belastung eines jeden Obergurtknotenpunktes die entsprechende Lastverteilung mit Rücksicht auf die Kontinuität und elastische Stützung der Längsträger und der Hauptträger-Obergurte rechnerisch festgestellt, worauf die unter Annahme gelenkiger Knotenpunkte gezeichneten Einflußlinien der Stabkräfte und Knotenmomente berichtigt werden konnten.

Die Abbildungen 16 und 17 zeigen die Einflußlinien von Stabkräften, die Abbildung 18 die Einflußlinie des Knotenmomentes im Obergurtknoten 3 und zwar gibt jeweils die ausgezogene Linie die Einflußlinie mit Rücksicht auf die lastverteilende Wirkung der Längsträger und Hauptträger-Obergurte, während die punktierten geraden Linien die Einflußlinien ohne Rücksicht auf die Lastverteilung darstellen.

Wie aus Abbildung 18 ersichtlich, ist der Einfluß der Kontinuität der Längsträger und Hauptträger-Obergurte auf die Nebenspannungen besonders groß.

Man ersieht hieraus, daß mit genauer Berücksichtigung der wirklichen Verhältnisse die Nebenspannungen wesentlich geringer ausfallen müssen, als sie unter der Annahme, daß das steifknotige Fachwerk die gleichen Winkeländerungen erfahre, wie ein gelenkknotiges, in den Abbildungen 14 und 15 berechnet sind. Die Spannungsmessungen bei der Probebelastung haben dies auch deutlich gezeigt. — Da Nebenspannungen nicht nur vom Trägersystem, bezw. von der

geometrischen Trägerform, sondern unter Umständen noch mehr von der gewählten Konstruktionsanordnung und deren Ausführung, d. h. von der körperlichen Trägerform, abhängig sind, so ist jedes einzelne Objekt nach diesen Gesichtspunkten zu beurteilen. Den sichersten Aufschluß über die Güte desselben geben jedoch umfangreiche Spannungsmessungen.

Das Gesamtgewicht der Brücke beträgt 291,7 t.

b) Der Versascatunnel (Km. 45,459—46,153).

Dieser Tunnel, welcher im Vorprojekt nur 518 m lang angenommen war, wurde auf Grund von drei seitlichen Sondierstollen so gelegt, daß er ganz im Felsen liegen sollte, weil die steile Ueberlagerung sich bei näherem Augenschein beweglich zeigte.

Auf Grund dieser Sondierung erhielt der Tunnel eine Länge von 694 m.

Bei der Herstellung des Firststollens erwies sich aber die Felslagerung und Felsbeschaffenheit so ungünstig, daß gegen den Tunnelausgang hin in der Tunnelfirst, auf 250 m Länge, nasse sandige Moräne angefahren wurde, welche auf ganz zerstörtem, aufgeweichtem Bündnerschiefer gelagert war, in den nun die untere Tunnelhälfte dieser Strecke zu liegen kam. Mit Hilfe sehr vorsichtigen Vorgehens und starker Bölzung wurde diese unerwartet schwierige Strecke, wenn auch nicht ohne erheblichen Zeitverlust, glücklich überwunden, wobei auch die bergseitige Flügelmauer des Ausgangsportales unter starkem Gebirgsdruck herzustellen war.

In diesem Tunnel sind 270 m in verstärkter Mauerung hergestellt und 75 m haben ein Sohlgewölbe erhalten, während ein solches sonst nirgends zur Ausführung gekommen ist.

c) Der Lochtobel-Viadukt bei Km. 47.82.

(Tafel 12.)

Bei diesem Viadukt — 5 Oeffnungen à 16 m Weite — traten besondere Fundationsschwierigkeiten am dritten Mittelpfeiler auf, der durch die bewegliche steile Ueberlagerung hindurch unmittelbar auf Fels gestellt werden mußte. Erst bei 14 m Tiefe wurde der Fels, unter Anwendung einer sehr umständlichen Zimmerung, endlich erreicht, nachdem noch inmitten der Aushebung infolge heftiger anhaltender Regengüsse ein Murgang die begonnene Baugrube mit Schutt wieder zugefüllt hatte.

Diese Umstände verzögerten die Viadukt-Vollendung um anderthalb Monate, was eine Aenderung im Fortgang der Gleislage zur Folge hatte.

d) Verlängerung des Solistunnels bei Km. 48,2.

Um den Bau der Brücke über das Muttner-Tobel (Tafel 13) zu vereinfachen und ein schwieriges Bahnstück zu vermeiden, wurde unter Verbesserung des Linienzuges während des Baues eine Verlängerung des Tunnels von 860 auf 987 m vorgenommen.

e) Lichtweite der Solisbrücke.

(Tafel 14.)

Bei der Aussprengung des linken Widerlagers des Hauptbogens zeigten sich Felsklüftungen parallel der Flußrichtung. Um dieselben zu überbrücken, wurde die Lichtweite von 40 m auf 42 m vermehrt und überdies der ganze Viadukt um ca. 1,5 m gegen Thusis verschoben.

f) Rutschung bei Km. 50,6.

Nach der Schneeschmelze im April 1903, also im Eröffnungsjahr, ergaben sich plötzlich bergseits an der anderthalbfüßigen Lehne, 60 m von der Bahnachse entfernt, tiefe Risse von 2 m Breite oberhalb der Einschnittböschung, welche sich in der dortigen Moräne gebildet hatten und

den Bestand des Bahnkörpers auf ca. 60 m Länge gefährdeten. Ein Parallelweg oberhalb der Bahn und die Bahnböschung zeigten Risse und Verschiebungen. Glücklicherweise stellte sich heraus, daß die Gleitfläche nicht tiefer ging als der Bahngraben, und da trockenes warmes Wetter eintrat, so gelang es der raschen Herstellung einer 50 m langen, 2 m starken Mauer, die 2½ m unter dem Bahngraben fundiert und bergseits durch sechs kräftige Sporen verstärkt wurde, die Bewegung schnell zur Ruhe zu bringen.

g) Verlängerung des Nisellastunnels bei Km. 51,7.

Der Nisellas-Tunnel sollte nach dem Projekt zuerst nur 89 m lang werden. Es zeigte sich dann aber die dortige mittels Lehnen-Viadukts zu überschreitende Halde hinsichtlich der Steinschlaggefahr so bedrohlich, daß ein 274 m langer Tunnel zur Ausführung kam, was allerdings nur durch Anwendung einer stärker gekrümmten Linie ermöglicht wurde.

h) Landwasser-Viadukt.

(Tafel 15 und 18.)

Als Besonderheit dieses Viaduktes ist die von der Unternehmung Müller & Zeerleder gewählte Art der Herstellung der drei höchsten Pfeiler — ohne Gerüst — mit Hilfe leichter, eingemauerter Winkeleisen zu erwähnen, welche zwei eiserne Brücken trugen, von denen aus elektrisch angetriebene Krahnaufzüge die Steinzufuhr für den Pfeileraufbau bewirkten.

Die Photographie auf Tafel 18 läßt den Vorgang deutlich erkennen.

Die drei Türme bestanden aus vier gleichschenkligen Winkeleisen von 6 m Länge, die fachwerkartig verstrebt waren. Beim Arbeitsfortschritt wurden die Streben abgeschraubt und die Winkeleisen mittels Laschenverbindung verlängert. Die Brücken waren als 23 m lange und 2,1 m hohe Fachwerke konstruiert. Zwischen den beiden Tragwänden blieb ein Zwischenraum von 0,95 m Weite, der zur Aufnahme der elektrischen Aufzugswinden diente.

Die Träger waren für eine Belastung in der Mitte von 2500 kg berechnet, wovon 1500 kg auf die Nutzlast, 1000 kg auf die Winde entfielen.

Zum Schluß wurden die Brücken bis 4 m über Gewölbscheitel aufgezogen und erleichterten das richtige Versetzen der Lehrbögengerüste wesentlich.

Die Steine für die Gewölbe und deren Uebermauerung wurden mittels Dienstbahn von oben her beigeführt.

Das Heben der Brücken geschah anfangs alle 8—10 Tage, später — als der Pfeilerquerschnitt kleiner wurde — in kürzeren Intervallen mit Hilfe von vier Ketten-Flaschenzügen. Diese Arbeit vollzog sich in einer halben Stunde.

Die Türme und Brücken wurden von Boßhardt & Cie. in Näfels geliefert, die elektrische Anlage für die Materialaufzüge von Wüest & Cie. in Seebach-Zürich.

Die Gesamtanlage kostete nach Angabe der Unternehmung Fr. 12,500.—.

i) Damm bei Km. 66,6.

An dieser Stelle, in der oberen Linie oberhalb des Greifensteintunnel-Eingangs war ursprünglich ein Viadukt projektiert. Derselbe sollte den Tunnel ca. 40 m nach dem Eingangsportal überschneiden. Die Ueberlagerung des Tunnels betrug hier 28 m und es war vorausgesetzt, daß der Tunnel unterhalb dieser Stelle bereits im Fels liegen werde. In Wirklichkeit lag er aber hier noch im Bergschutt und trat erst bei 60 m Portal-Distanz in die Rauhwacke ein. Es zeigte sich, daß durch den Tunnelbau eine merkbare Bewegung der Ueberlagerung hervorgerufen war. Da es deshalb nicht tunlich erschien, in diesem Gebiet Viadukt-Pfeiler zu fundieren, wurde mit Hilfe einer geringen Verschiebung der oberen Bahnachse statt eines Viadukts die Anlage eines Bahndammes beschlossen, für welchen geeignetes Material seitlich leicht gewonnen werden konnte (s. Tafel 3).

k) Surmintobel-Brücke, 20 m weit, Km. 68,5.

In diesem Tobel waren oberhalb der Bahnlinie schon vor dem Bahnbau zum Schutze der Kantonalstraße Verbauungen gegen den Abgang von Rüfen vorgenommen. Es war daher anfangs hier ein hinterfüllter Damm geplant und der Wasserdurchlaß in den nächsten Einschnitt verlegt. Spätere Besichtigungen ließen es indes geraten erscheinen, einen Durchlaß von 4—6 m Weite in der tiefsten Rinne herzustellen. Da aber die steile Lehne einen sehr langen Durchlaß unter hoher Auffüllung erfordert hätte, so ergaben vergleichende Kostenberechnungen, daß es vorteilhafter sei, die ganze Schlucht mittels einer 20 m weiten gewölbten Brücke zu übersetzen, die dann auch zur Ausführung kam.

l) Glatscheras-Tunnel, 333,5 m lang.

(Tafel 31.)

Die wichtigste aller Projektsänderungen war die Einschaltung des Tunnels unter der Bergünerrutschung, von welcher auf Seite 11 ausführlich die Rede war. Dieser Tunnel wurde in sehr beschleunigter Weise und unter der Einwirkung von Vollendungsprämien in 143 Tagen vollendet und kostete im ganzen Fr. 178,000.—.

m) Schutzbauten gegen Lawinen oberhalb Bergün.

(Tafeln 4, 5, 9, 17, 18.)

Während unterhalb Bergün die Albulabahn nicht von Lawinen bedroht ist, tritt die Lawinengefahr zwischen Bergün und Naz der Bahnanlage in bedrohlichster Weise entgegen.

Wo eine Verbauung des Lawinengebietes möglich war, suchte man diese anzuwenden, teils der geringeren Kosten wegen, teils um den Touristen die in dieser schönen Umgebung doppelt unerfreulichen Tunnel nach Möglichkeit zu ersparen. Wo die Lawinen von schroffen Felswänden herunterkommen, sind steinerne Galerien angewendet und für geringere Schneemassen wurden Schutzdächer in Eisenkonstruktion oder Ablenkungsbauten angeordnet.

Die größte Lawinen-Verbauung an der Albulabahn und in der Schweiz überhaupt ist diejenige in „Muot“ oberhalb Bergün, welche bestimmt ist, die Bahn auf eine Länge von 700 m gegen die Bedrohung von drei gewaltigen Lawinenzügen zu schützen, die bisher fast alljährlich die Poststraße verschüttet hatten.

Herr Forstmeister Coaz, welcher als vorzüglichster Kenner der schweizerischen Lawinenverhältnisse ersucht wurde, seine Meinung abzugeben, hielt im Einverständnis mit Herrn Forstinspektor Enderlin in Chur eine erfolgreiche Verbauung dieser Lawinen für sicher, während in der unmittelbar folgenden Strecke in der „Blais Chaneletta“ das Terrain im oberen Teil so steil ist, daß hier die Bahn nur durch Tunnel oder Galerie gesichert werden konnte.

Diese Verbauung ist sodann im oberen Teil durch Trockenmauern, im mittleren Teil durch Verpfählungen und Aufforstung, im unteren Teil durch Aufforstung allein bewirkt.

Die herzustellenden Arbeiten reichen hinauf bis zu 2325 m ü. d. M. und begannen im Jahre 1900, wobei zuerst ein Weg und an Ort und Stelle Unterkunft für die Arbeiter, sowie Schmiede und Wagnerei hergestellt werden mußten. Als Arbeitsmonate kommen nur Juli und August in Betracht, zuzüglich einiger Wochen vorher und nachher, die aber unsicher sind. Zuerst wurde in der obersten Zone mit Herstellung der Mauern begonnen, für welche die Steine an Ort und Stelle gebrochen wurden. Ihre Anlage ist aus Tafel 17 und 18 ersichtlich.

Der Lawinengang des nächsten Winters zeigte die gute Wirkung der bereits geleisteten Arbeit und so wurde sie in den folgenden Jahren fortgesetzt und in der Hauptsache im Eröffnungsjahr 1903 vollendet.

Die ganze Anlage, welche noch fortwährend ergänzt wird, hat ihrem Zweck gut entsprochen. Sie umfaßt ein Gebiet von 55,6 Hektaren. Die Kosten stellen sich auf ca. Fr. 300,000.—, von denen die Eidgenossenschaft Fr. 137,000.— übernommen hat. Es kostet demnach 1 m² verbauter Fläche 55 Cts., wobei anzumerken ist, daß die Lärchenhölzer zur Verpfählung in diesem Falle gekauft werden mußten, während dieselben bei andern Verbauungen der Schweiz stets von der betreffenden Gemeinde geliefert werden. Für die Anpflanzungen wurde im Jahre 1900 ein Pflanzgarten bei Bergün bestellt, in welchem zur Hälfte Arven, zur Hälfte Lärchen und Fichten gezogen wurden. Bis jetzt sind 150,000 zwei- bis dreijährige Pflanzen im Lawinengebiet versetzt.

Unmittelbar anstoßend an diesen Abbau folgt eine gemauerte Lawinengalerie von 177,2 m Länge. Diese Galerie mußte in tiefgründiger Schutthalde angelegt und fundiert werden, da ein 80 m langer Sondierstollen keinen Fels ergab. Trotzdem die talseitigen Stützpfeiler einen sehr breiten Fuß erhielten, trat doch nach Fertigstellung der Galerie ein durchlaufender Längsriß im Gewölbe auf, welcher ungefähr in der bergseitigen Bruchfuge verlief und mit Zementmörtel vergossen werden mußte. Weitere Nachteile sind dadurch nicht entstanden.

Diese Galerie kostete Fr. 115,000.—, oder Fr. 980.— per Meter. Nach diesem Maßstab hätte eine Galerie in der 700 m langen Strecke der Verbauung in „Muot" Fr. 690,000.— gekostet, wogegen jetzt nur Fr. 163,000.— von der Bahnverwaltung aufgewendet sind.

Eine weitere gemauerte Galerie von 45 m Länge ist bei Km. 82,86 erstellt.

Leichtere Schutzdächer in Eisenkonstruktion und mit Langhölzern abgedeckt (Tafel 9) wurden im Anschluß an den Ausgang des Rugnuxtunnels bei Km. 80,6 — 31 m lang — und bei Km. 80,8 — 16 m lang — angeordnet und kosteten 400—500 Fr. p. l. m. Sie sind an solchen Orten angezeigt, wo die Schneemassen nicht aus größerer Höhe herabstürzen.

Kleinere Lawinen und Schneerutsche konnten durch ablenkende Gräben für die Bahn unschädlich gemacht werden.

In größerem Maßstab fand eine solche Ablenkung an der Lawine des „Val Rots" statt, welche nach ihrem gewöhnlichen Verlauf die Bahnlinie bei Km. 81,05 getroffen haben würde. Diese Richtung der Lawine war aber nicht diejenige des oberen Lawinenlaufes, sondern 400 m oberhalb der Bahn durch einen Felsvorsprung hervorgerufen. Die Beseitigung dieses Felsens, die Schaffung eines neuen 15 m breiten Bettes in der oberen Talrichtung und die Absperrung des alten Laufes durch eine 60 m lange, 6 m hohe Mörtelmauer genügten daher, um diese Lawine in eine Richtung abzulenken, welche der — auf das andere Albula-Ufer übergehenden — Bahn nicht mehr gefährlich werden konnte.

Zu den nachträglichen Schutzbauten gegen Lawinen gehört die Verlängerung der Fuegna-Galerie bei Km. 79,5 um 12,7 m im Kostenbetrag von Fr. 12,500.—.

Nach der Bahneröffnung ist für weitere unvorhergesehene Lawinen-Schutzbauten, insbesondere bei Km. 79,4, 82,7 und 94 noch ein Betrag von ca. Fr. 100,000.— aufgewendet.

Die seit 1898 vorgenommenen Messungen der Höhe der Schneedecke längs der Albulalinie haben, trotz der um 200—300 m größeren Meereshöhe des Albulagebietes gegenüber der Strecke Klosters-Davos, im Durchschnitt erheblich geringere Zahlen ergeben als auf letzterer Linie. Es haben sich auch die Befürchtungen, die Offenhaltung eines regelmäßigen Bahnbetriebes in einer Höhe bis zu 1818 m könnte durch die regelmäßigen größeren Schneefälle in Frage gestellt sein, glücklicherweise nicht bestätigt.

Infolge von Lawinen und Schneerutsch fanden in den ersten Jahren folgende Zugsverspätungen (ohne weiteren Schaden) statt:

April	1904	6	Verspätungen	von	2 bis	215	Minuten
März	1905	6	„	„	10 „	20	„
Februar	1906	2	„	„		9	„

Die größten Schneehöhen betrugen:

	1903	1904	1905	1906	
in Bergün	0,65	0,56	0,87	0,83	m
„ Preda	1,25	1,25	1,17	1,12	„
„ Spinas	1,20	1,54	1,15	1,18	„
„ Bevers	1,15	1,24	1,08	0,95	„
„ Celerina	0,94	1,19	1,04	0,94	„

Die Beſeitigung von Schnee und Eis koſtete per Kilometer

		1904	1905	1906
in der Strecke Thuſis-Siliſur	Fr.	84.—	202.—	51.—
„ „ „ Siliſur-St. Moritz	„	1015.—	967.—	442.—

Viel Mühe veranlaßt die Eisbildung namentlich im Albula-Tunnel, welcher deshalb im Winter durch Tore geſchloſſen wird, um den Froſt tunlichſt zurückzuhalten. Am Solis-, Rugnux-, Toua- und Zuondra-Tunnel ſind zum gleichen Zweck Vorhänge angebracht, da es nicht gelungen iſt, den Waſſertropf durch Kalfatern zu beſeitigen.

n) Schutzbauten gegen Steinſchlag.

Beſondere Schutzbauten gegen Steinſchlag ſind während des Baues nicht in großem Umfang ausgeführt worden. Die größte derartige Anlage war im Glatſcheras-Gebiet bei Bergün geplant, wo ſchon von jeher die Kantonsſtraße von Steinſchlag aus den oberhalb anſtehenden Felswänden zu leiden hatte. Der projektierte Schutzbau beſtand aus fünf getrennten Trockenmauern am Fuße der Felswände von 375 m Geſamtlänge, hinter denen ein Fallboden auszuheben war.

Dieſe Anlage war bereits zur Hälfte hergeſtellt, als die große Rutſchung eintrat, und iſt durch den eingeſchalteten Glatſcherastunnel überflüſſig geworden.

Das Vorkommen von Steinſchlag iſt natürlich viel unſicherer vorauszuſehen, als das Vorkommen von Lawinen, deren Weg meiſt bekannt iſt. Man iſt diesbezüglich daher dem Verfahren der Gotthardbahn gefolgt, bei welcher nicht im Voraus aufs Geratewohl Schutzbauten erſtellt wurden; wo ſich aber Gefahr zeigte, hat man ſofort und in umfaſſender Weiſe Schutzvorkehren getroffen.

Für ſolche Schutzbauten ſind bei der Albulabahn ſeit der Bahneröffnung Fr. 180,000.— aufgewendet. Dieſelben beſtehen aus Mörtel- und Trockenmauern und Holzwänden, die der Oertlichkeit angepaßt und namentlich in der Lehne zwiſchen Km. 67 und 70 ſtellenweiſe ſehr ausgedehnt ſind und weit hinaufreichen. (Tafel 5.)

o) Rugnux-Tunnel.

Dieſer Spiral-Tunnel von 661 m Länge, bei Km. 81, hat bei ſeiner Herſtellung in zerklüftetem Dolomit durch den heftigen Andrang kalten Waſſers, deſſen Temperatur im Winter und Sommer nur 4° betrug, unerwartete und große Schwierigkeiten bereitet, weil die durch das kalte Waſſer halb erſtarrten Arbeiter in ihrer Leiſtungsfähigkeit außerordentlich beeinträchtigt wurden. Im Juni 1902 erklärte die Unternehmung, dieſe Arbeit nicht ohne Preisänderung durchführen zu können, weshalb dieſer Tunnelbau im Exekutionswege durch die Regiebauleitung des Albulatunnels zu Ende geführt wurde.

Ende Januar 1903 war der Tunnel vollendet.

Es ſtellte ſich hierbei heraus, daß in den waſſerreichen Strecken die wirklichen Koſten die Vertragspreiſe um 85% überſtiegen.

Im Durchſchnitt hat dieſer Tunnel Fr. 680 p. l. m gekoſtet.

p) Straßen- und Uferbauten.

Die Arbeiten dieser beiden Kategorien sind nicht von solcher Bedeutung, daß es an dieser Stelle nötig erscheint, näher darauf einzugehen.

Außer einigen Verlegungen der Kantonsstraße, von denen die Ueberfahrt bei Km. 43,5, die Hinausschiebung an der Station Solis und die Ueberfahrt bei Cresta im Engadin die größten sind, kommen an Straßenbauten noch die Zufahrtsstraßen in Betracht. Unter diesen stehen die beiden großen 10 m breiten Zufahrtsstraßen von St. Moritz in erster Linie, von denen die eine am See entlang zum Bad führt, während die andere sich in Windungen zum Dorf hinauf entwickelt.

Auch die Uferbauten sind bei einer solchen Bahnanlage natürlich nicht von großer Bedeutung. Zu erwähnen sind die Sperren in den beiden Cugneler-Tobeln bei Km. 45,3 und 45,4, welche die früher zum Schutz der Straße errichteten Wuhren ergänzen und teilweise erneuern. Ferner kommen in Betracht die Uferbauten an den oberen Albulabrücken und an den beiden Beverinbrücken bei Km. 91,78 und 94,7.

3. Vollendungstermine und Oberbaulegen.

Zur Ermittlung der Termine für die Vollendung des Unterbaus der verschiedenen Baulose, sowie für die Ablieferung der Oberbaumaterialien mußte schon im Frühling 1900 ein Programm für das Legen des Oberbaus entworfen werden. Dasselbe hatte davon auszugehen, daß die Bahn am 1. Juli 1903 eröffnet werden sollte, und deshalb der Oberbau spätestens bis zum 15. Mai 1903 fertig gelegt sein mußte, da für die Ausstattungszüge und Kollaudationen sechs Wochen erforderlich sind. Um die großen Kosten des Achstransportes der Oberbaumaterialien für das Engadin über den Albulapaß (2315 m ü. M.) zu ersparen, nahm man in Aussicht, daß dieselben durch den Albulatunnel geführt werden sollten, und da die Vollendung dieses Tunnels erst im Winter 1902/03 zu erwarten war, so konnte das Legen des Oberbaus im Engadin erst nach der dortigen Schneeschmelze im April 1903 begonnen werden.

Es genügte demnach, den Unterbau im Engadin im Herbst 1902 zu vollenden.

Bei Thusis andererseits stellte es sich als wünschenswert heraus — zur Entlastung der Station Thusis und zur Erleichterung der Weiterbeförderung — das anlaufende neue Oberbaumaterial möglichst bald auf der Station Sils i/D. abzulagern,

Deshalb wurden die Arbeiten zwischen Thusis und Sils — einschließlich der großen Rheinbrücke — so gefördert, daß im Spätherbst 1901 die neuen Schienen und Schwellen direkt per Bahn nach Sils geführt werden konnten.

Im weiteren handelte es sich dann darum, den Oberbau von Sils bis Preda im Jahre 1902 vor Eintritt des Winters fertig zu legen, um im Frühling 1903 das Obermaterial sowohl für den Albulatunnel, als für das Engadin von Sils mit Materialzügen hinaufführen zu können.

Es war vorauszusetzen, daß die Solisbrücke nicht vor Juli und die Landwasserbrücke nicht vor Ende September vollendet werden würde.

Da man ferner mit Rücksicht auf die zahlreichen Krümmungen und die Zwischenstationen einen größeren monatlichen Fortschritt als von 6 km nicht in Aussicht nehmen konnte und anfangs Dezember in den oberen Strecken der Winter eintritt, so ergab sich, daß man mit dem Legen des Oberbaus von Sils ab nicht vor Juli beginnen und folglich mit dem Vorlegen von unten herauf vor Eintritt des Winters nur bis Bergün gelangen konnte.

Das Oberbaulegen zwischen Bergün und Preda mußte also unabhängig davon vor sich gehen. Das Oberbaumaterial dieser Strecke wurde daher mittels Fuhrwerk vorher auf Lager-

plätze zunächst der Kantonsstraße oberhalb Bergün an fünf geeigneten Stellen derart verteilt, daß man von ihnen aus in den Monaten September bis Dezember 1902 ohne Maschine den Oberbau von Preda nach Bergün abwärts legen konnte.

Dieser Achstransport des Materials für 12 km Bahn im Gewicht von 1450 t geschah in den vorausgehenden zwei Wintern und kostete, zum Preis von 70 Cts. per Kilometer und Tonne, im ganzen Fr. 32,000.—.

Obigen Verhältnissen entsprechend wurde bei der Bauausschreibung im Juni 1900 als Vollendungstermin der Unterbauarbeiten für das erste Los (ab Sils) der 1. Juli, für das 2. Los der 15. Juli und für die anderen Lose der Nordrampe der 1. August 1902 festgesetzt, so daß für die Herstellungen zwei Baujahre gegeben waren, einschließlich der Zeit, welche die Unternehmer für ihre Vorbereitungen nötig haben.

Die Ausführung hat diesem Programm entsprochen mit der Ausnahme, daß der Lochtobel-Viadukt wegen der erschwerten Fundierung statt Mitte Juli erst Ende August fertig wurde, zu welcher Zeit der Oberbau programmgemäß schon in Tiefencastel anlangen sollte.

Einer hierdurch entstehenden Verzögerung wurde dadurch vorgebeugt, daß man das Oberbaumaterial für die 6 km lange Strecke Lochtobel-Tiefencastel mittels Fuhrwerk nach Tiefencastel führen ließ und den Oberbau so zeitig von Tiefencastel bis zum Lochtobel abwärts verlegte, daß der Zusammenschluß gleichzeitig mit der Viadukt-Vollendung vor sich ging und der Oberbau also Ende August programmgemäß vorgerückt war.

Am 4. Dezember 1902 fuhr der erste Probezug von Thusis bis zum Rugnuxtunnel bei Km. 80.

Im Winter ruhte das Legen des Oberbaus, aber als der Schnee verschwand und inzwischen der Albulatunnel vollendet war, fuhr am 4. April 1903 der erste Materialzug mit Schienen und Schwellen bis Preda und der Oberbau von Preda bis Celerina wurde dann vom 4. April bis 15. Mai 1903 von der Bauleitung des Albulatunnels mit einer durchschnittlichen Monatsleistung von 10 km fertig gelegt und unterkrampt.

Im Albulatunnel wurden zuerst mit Hilfe der Dienstbahn Schienen und Schwellen der ganzen Länge nach, rechts und links verteilt, worauf von beiden Enden Tag und Nacht gegen die Mitte vorgelegt wurde.

Im Engadin mußte noch etwas Schnee geschaufelt werden. Zur Zeitersparnis wurden die wichtigsten Weichen der Stationen Bevers und Samaden von Spinas aus mittels Fuhrwerk vorausgeschickt.

4. Uebersicht der wichtigsten Bauten, Arbeitsmengen und Kosten.

In den nachfolgenden Tabellen sind die hauptsächlichsten Ergebnisse der Ausführung des Unterbaues — außerhalb des Albulatunnels — zusammengestellt.

a) Verzeichnis der kleineren Tunnel.

№	Name	Länge m					№	Name	Länge m				
		Portal	Type			zusammen			Portal	Type			zusammen
			1	1a	3					1	1a	3	
1	Campell . .	3.0	—	23.0	6.0	32.0	21	Cruschetta I .	15.0	18.0	41.0	—	74.0
2	Campi . . .	5.0	110.0	98.5	4.2	217.7	22	„ II .	20.0	42.0	355.6	—	417.6
3	Runplanas .	8.0	316.0	142.0	36.0	502.0	23	Surmin . . .	2.0	11.0	206.0	5.0	224.0
4	Cugnieler . .	4.0	—	—	35.0	39.0	24	Bellaluna . .	2.0	—	20.0	6.0	28.0
5	Versasca . .	6.0	—	420.0	268.5	694.5	25	Stulser I . .	2.6	—	—	81.4	84.0
6	Pflanzgarten I	6.5	—	—	32.0	38.5	26	„ II . .	2.0	—	98.0	3.0	103.0
7	„ II	5.0	—	—	93.0	98.0	27	Streda . . .	2.0	—	—	62.0	64.0
8	Paßmal. . .	15.5	132.0	273.0	—	420.5	28	Bergünstein .	3.2	311.6	42.0	52.7	409.5
9	Solis . . .	2.0	665.0	319.0	—	986.0	29	Glatscheras .	7.0	86.0	179.0	61.5	333.5
10	Alvaschein . .	2.5	61.0	508.0	37.5	609.0	30	God	2.9	216.0	257.0	10.1	486.0
11	Nisellas . . .	2.0	143.0	102.0	27.0	274.0	31	Platz	3.8	—	205.0	53.2	262.0
12	Salons . . .	8.0	—	52.0	—	60.0	32	Prasüra . . .	3.9	—	—	30.6	34.5
13	Müstail . . .	4.0	—	295.5	—	299.5	33	Suegna . . .	34.0	—	31.0	—	65.0
14	Tiefencastel .	2.0	—	24.0	—	26.0	34	Rugnux . . .	19.0	172.8	458.2	11.8	661.8
15	Sagliains . .	4.0	10.0	13.0	—	27.0	35	Toua. . . .	2.0	—	675.0	—	677.0
16	Landwasser .	2.5	—	213.5	—	216.0	36	Zuondra . .	1.6	142.7	268.3	122.4	535.0
17	Greifenstein .	4.0	—	588.0	106.0	698.0	37	Charnadüra .	4.0	—	330.0	114.6	448.6
18	Schloßberg .	4.0	—	52.0	—	56.0	38	Argenteri . .	4.0	—	44.0	66.2	114.2
19	Saleinerweg .	2.0	—	—	33.5	35.5		21—38 . .	131.0	1000.1	3210.1	680.5	5021.7
20	Ruigna . . .	2.0	—	14.5	4.5	21.0		1—20 . .	92.0	1437.0	3138.0	683.2	5350.2
		92.0	1437.0	3138.0	683.2	5350.2							
								Summe	223.0	2437.1	6348.1	1363.6	**10371.9**

Bemerkungen:

Im Versascatunnel haben 75 m Sohlgewölbe erhalten.

Im Rugnuxtunnel haben 54.4 m der Type 1a kein Deckengewölbe, nur Widerlagermauer.

Im Touatunnel „ 268 m „ „ „ „ „

Im Zuondratunel „ 102 m „ „ „ „ „

Von der ganzen Baulänge = **55.878** m (ohne Albulatunnel) liegen also **10.371,9** m oder **18.5** % im Tunnel.

Von der Nordrampe, lang **44.638** m, liegen **9809** m oder **22** % im Tunnel (ohne Einrechnung der Lawinengalerien).

Von dieser Tunnellänge sind ungemauert: 2437.1 m oder 23.5 %

„ „ „ haben leichte Verkleidung: 6348.1 m „ 61.2 %

„ „ „ „ verstärkte Mauerung: 1586.7 m „ 15.3 %

Zum Vergleich möge beigefügt werden, daß bei der Gotthardbahn im Tunnel liegen:

in der Strecke Immensee—Erstfeld 13.6 % der Länge

„ Erstfeld—Göschenen 24.7 % „

„ Airolo—Biasca 17.6 % „

„ Giubiasco—Lugano 12.5 % „

im Durchschnitt dieser 4 Linien **17.0** % „

b) Verzeichnis der Brücken.

№	Name	Weite der Oeffnungen	Gesamt-Länge	Größte Höhe
1	Thusisbrücke .	3×15, 80 [Eisen], 3×11, 15	238	24
2	km. 43.652 .	4×10	52	12
3	„ 43.860 .	3×10	44	16
4	„ 44.118 .	2×12	41	15
5	„ 44.313 .	2×6	18	6
6	„ 44.361 .	2×8	20	10
7	„ 44.657 .	5×6	39	8
8	„ 44.793 .	3×6	25	9
9	Cugnieler I .	1×15	24	7
10	„ II .	1×15	22	9
11	km. 46.257 .	3×6	31	8
12	„ 46.406 .	7×6	53	7
13	Bendertobel .	3×16	57	17
14	km. 47.643 .	4×6	62	10
15	„ 47.736 .	1×14	22	11
16	Lochtobel . .	5×16	97	35
17	Muttnertobel .	1×30	45	40
18	km. 49.239 .	3×4	17	10
19	„ 49.672 .	12, 2×8, 12	62	10
20	Solisbrücke .	2×10, 42, 4×10, 4×8	164	85
21	km. 50.622 .	3, 3×8, 3	55	12
22	„ 51.913 .	6×10	72	12
23	„ 52.069 .	10, 4×8	73	11
24	„ 52.280 .	3×6	29	9
25	„ 52.340 .	3×6	24	8
26	Müstailbrücke.	1×27	32	23
27	km. 53.152 .	3×8	31	10
28	„ 54.179 .	3×6	41	7
			1490	
29	km. 54.484 .	9×6	80	5
30	„ 59.258 .	3×8	34	11
31	„ 62.620 .	3×4	20	6
32	Schmittentobel	7×15	137	35
33	km. 62.880 .	2×8	21	9
34	Landwasser-V.	6×20	130	65
35	Valnava-V. .	4×8	44	12
36	Saleinbrücke .	5×8	50	14
37	Surminbrücke	1×20	34	11
38	Bellaluna I .	3×8	31	8
39	„ II .	4×8	46	11
40	Stulsertobel I	1×25	40	32
41	„ II	1×23	40	12
42	Stredaviadukt	2×8	31	6
43	Tuorsbach-V.	3×10	42	10
44	Clix-Viadukt .	5×10	72	22
45	km. 76.095 .	8×6	70	8
46	Val Tisch-V. .	8, 3×20, 8	101	40
47	Albulaviadukt I	3×12, 5	59	11
48	km. 80.688 .	5×8	56	10
49	Albulaviad. II	8, 3×20, 8	95	29
50	„ III	3×10, 3×20, 2×10	137	28
51	„ IV	2×16	44	22
52	Beverin-Br. I	13 m [Eisen]	20	5
53	„ II	1×18	26	5
54	„ III	1×14	25	4
55	km. 102.4 . .	3×10	40	7
	29—55 . .		1525	
	1—28 . .		1490	
		Total	3015 m	

Die Gesamtlänge der Bahn beträgt ohne Albulatunnel . . . . 55.878 m
Rechnet man hiervon ab die kleinen Tunnel in ihrer Gesamtlänge von . . . . . . 10.372 m
so bleibt die Länge der offenen Bahn . . . . 45.506 m

Die oben ermittelte Gesamtlänge der Viadukte mit 3015 m nimmt also 6.6 % der offenen Linie ein; wenn man die ganze Bahnlinie in Betracht zieht. In der Nordrampe (Thusis—Preda), deren offene Strecke 34.829 m lang ist, beträgt die Viaduktlänge 2904 m oder 8.3 % der freien Bahn.

Die Gesamtlänge der lichten Oeffnungen beträgt auf der Nordseite . . . . . 2104 m
auf der Südseite . . . . . 75 m
zusammen . . . . 2179 m

Diese Länge beträgt also 4,8 % der gesamten offenen Linie,
6,0 % der Nordseite.

Bei der Gotthardbahn stellt sich diese letztere Zahl
für Erstfeld—Göschenen auf 6 %
„ Airolo—Biasca „ 3.5 %

c) Arbeitsmengen der Nordrampe, Km. 41.4—82.9.

Los	Erd- und Felsbewegung m³	Mörtel-Mauern m³	Trocken-Mauern m³	Mauerwerk der Kunstbauten m³
	Angabe des Gesamtbetrages und des Betrages per Kilometer offene Bahn			
1. Offene Bahn . . . . . . 4,224 km	160,540	4150	9230	13,390
Tunnel . . . . 2,042 „				
zusammen lang . 6.266 km	38,200	990	2200	3,100
2. Offene Bahn . . . . . . 2,641 km	69,100	2233	1515	13,060
Tunnel . . . . 1,929 „				
zusammen lang . 4,570 km	26,500	850	570	5000
3. Offene Bahn . . . . . . 6,098 km	111,420	170	9045	5,800
Tunnel . . . . 0,326 „				
zusammen lang . 6,424 km	18,200	30	1500	950
4. Offene Bahn . . . . . . 5,297 km	99,610	1150	9240	15,360
Tunnel . . . . 0,243 „				
zusammen lang . 5,540 km	18,800	220	1750	2,900
5. Offene Bahn . . . . . . 4,620 km	189,800	1735	20980	6,320
Tunnel . . . . 1,805 „				
zusammen lang . 6,425 km	41,100	380	4540	1,370
6. Offene Bahn . . . . . . 4,812 km	180,000	2862	13300	4,910
Tunnel . . . . 1,157 „ [1]				
zusammen lang . 5,969 km	37,500	600	2770	1,020
7. Offene Bahn . . . . . . 4,884 km	165,700	2285	2825	13,015
Tunnel . . . . 1,426 „ [2]				
zusammen lang . 6,310 km	32,100	470	570	2,660
Zusammen 32,576 km lang	976,170	14585	66135	71,855
„ per Kilometer offene Bahn	30,000	448	2030	2,260

[1]) ohne Glatscherastunnel [2]) ohne Chanelettagalerie

Obigen Zahlen mögen zum Vergleich einige Angaben von der Gotthard- und Arlbergbahn gegenübergestellt werden. Erstere sind der Denkschrift des schweiz. Eisenbahndepartements vom Jahre 1886, letztere der Denkschrift der Staatsbahndirektion in Innsbruck vom Jahr 1896 entnommen.

		Arbeitsmengen per km freie Bahn m³			
		Erd- und Felsbewegung	Mörtelmauern	Trockenmauern	Mauerwerk der Kunstbauten
Albulabahn:	Nordrampe	30,000	448	2030	2260 [1])
Gotthardbahn:	Immensee-Erstfeld .	34,871	577		847
	Erstfeld-Göschenen .	57,032	1835		1842
	Airolo-Biasca . . .	48,236	1002		1399
	Cadenazzo-Dirinella	20,896	830		1373
	Giubiasco-Lugano	27,973	499		1201
	Mittel	39,427	921		1289 [1])
Arlbergbahn:	beide Rampen [2]) . .	48,900	1900	2000	2550

[1]) Die Albulabahn hat vorzugsweise gemauerte Viadukte, bei der Gotthardbahn herrschen eiserne Brücken vor.
[2]) Die Länge beider Rampen beträgt 52,701 km, wovon nur 1167 m oder 2,2 % im Tunnel liegen.

d) Einheitspreise und Arbeitslöhne.

A. Einheitspreise.

1. Erd- und Felsarbeiten, Stütz- und Futtermauern.

Für die vorbereitenden Arbeiten wurden per Km. Bahnlänge Fr. 1000.— vergütet, ebenso für die Reinplanie nach vollendeter Herstellung der Bahn „im Rauhen“, einschließlich der Besämung der Böschungen. Für Sickerungsanlagen, Pflanzungen, Flechtzäune, wurden die auch sonst in der Schweiz üblichen Preise bezahlt.

Für die eigentliche Erd- und Felsbewegung wurde — wie bereits erwähnt — auf Grund der Sondierungen und einer zweckmäßigen Erdverteilung ein Durchschnittspreis für jedes Baulos ermittelt, welcher auch die Vergütung des Transportes enthielt, entsprechend einer Transporttabelle, die mit derjenigen der Gotthardbahn übereinstimmt.

Dieser Durchschnittspreis betrug per m³ Einschnittsmaterial in den 7 Losen der Nordseite:

Los	1	2	3	4	5	6	7
Fr.	1.60	1.65	1.50	1.55	1.90	1.50	1.80

Die Stütz- und Futtermauern in Mörtel wurden durchweg aus regelmäßigem Bruchsteinmauerwerk erstellt, dessen Preis per m³ 1 Fr. niedriger war als bei den Kunstbauten.

Der Fundamentaushub der Stützmauern war mit 2 Fr. per m³ vergütet. Der Aushub für die Futtermauern erhielt außer dem Preis der Erdarbeiten noch einen Zuschlag von 2 Fr. per m³ Mauerwerk.

Die Trockenmauern wurden überall mit 6 Fr. per m³ bezahlt, wobei ein Teil des Steinmateriales aus den Felseinschnitten kam.

Die Verwendung des Einschnittmaterials zu Bauzwecken war den Unternehmern ohne Abzug gestattet. Sofern dadurch indes Mangel an Auffüllungsmaterial entstand, mußte der Unternehmer diesen Mangel aus eigener Grube decken.

Die Abdeckung der Mauern mittels Rollschar oder ausgesuchter großer Steine wurde durch Zuschlag zum Einheitspreis vergütet, welcher bei Mörtelmauern 5 Fr., bei Trockenmauerwerk 2 Fr. per lfd. m betrug.

2. Tunnel.

Die Tunnel wurden je nach der angewendeten Type nach folgender Skala bezahlt:

	Thusis-Filisur	Filisur-Preda	Spinas-St. Moritz	
Normaltype I ohne Verkleidung . . .	270	300	375	Fr. per lfd. m
Ia mit „ . . .	385	425	500	„ „ „
III mit stärkerer Mauerung .	490	535	600	„ „ „

Bei Abweichungen von diesen Typen wurden vergütet

für Mehrausbruch . 8—9 Fr. per m³
für Mehrmauerung
Widerlager . . 21—23 „ „ „
Gewölbe . . . 27—29 „ „ „

Wo Mauerung in Portlandzementmörtel (statt hydraulischem Kalk) zur Ausführung kam, wurde der Preis per m³ bei den Tunneln sowohl als den Brücken um 3 Fr. erhöht.

3. Brücken.

Die Preise per m³ betrugen:

für Fundamentaushub in Erde usw.	2 Fr.
„ „ in Fels	3—4 „
„ „ unter Wasser, Zuschlag . .	4 „
„ Fundamentmauerwerk in hydraulischem Kalk .	15—17 „
„ häuptiges Bruchsteinmauerwerk	18—20 „
„ Spitzsteinmauerwerk	28—30 „
„ Schichtsteinmauerwerk	38—40 „

für rauhe Quader	. . . .	60 Fr.
„ Deckplatten aus Granit	. . . .	150 „
„ Gewölbe aus Bruchstein in hydraulischem Kalk		28—30 „
„ „ „ Spitzstein „ „	„	38—40 „
„ „ „ Schichtstein in Portland	„	50 „
„ „ „ Portlandzementbeton	. . . . .	30 „

Die Pfeilerkanten und die Gewölbstirnen wurden als Schichtenmauerwerk hergestellt und erhielten daher einen Zuschlagspreis; ersterer betrug Fr. 6.— per Meter Kantenlänge, letzterer Fr. 10.— per m² Stirnfläche.

Die eisernen Viadukt-Geländer (Tafel 9) kosteten Fr. 5.70 bis 6.— per Meter. Der Schotterpreis betrug Fr. 3.50 bis 4.— per m³.

Lehrbögen und Gerüste wurden nur bei sehr hohen Bauten, und dann in der Regel durch eine Pauschalsumme besonders vergütet, welche für sämtliche Kunstbauten eines Loses, also nicht für ein einzelnes Bauwerk, ausgesetzt wurde. Diese Pauschalsummen betrugen für die einzelnen Lose je nach der Größe der Bauwerke Fr. 5000.— bis 32,000.—.

Bei sehr hohen Pfeilern wurde überdies der normale Einheitspreis des Bruchsteinmauerwerkes noch um Fr. 1.— bis 2.— erhöht.

In den obern Losen verteuerte der weite Transport des Kalkes und die schwierige Sandgewinnung die Mauerwerksherstellung, auch ergaben die spröden und formlosen Kalksteine, namentlich im 7. Los, eine unregelmäßigere Gesichtsfläche als in den untern Baulosen, obwohl es an tüchtigen Maurern nicht fehlte.

Der hydraulische Kalk kostete	in Thusis	Fr.	2.40	per 100 kg
	„ Preda	„	6.—	„
Der Portlandzement „	„ Thusis	„	4.40	„
	„ Preda	„	8.—	„
Der Palazzolo-Kalk „	„ Spinas	„	6.10	„
Dynamit (83 %)	„ Preda	„	250.—	„

Die Solisbrücke	hatte 3290 m³	Mauerwerk und kostete	Fr. 125,000.—
Die Landwasserbrücke	„ 9200 „	„ „ „	„ 280,000.—
Der 3. Albulaviadukt	„ 4090 „	„ „ „	„ 125,000.—

Im Durchschnitt von 33 Viadukten der Nordrampe kostete 1 m² der Längenprofilfläche Fr. 45.—, wobei das Längenprofil der Lehnenviadukte 3 m talwärts der Achse genommen wurde.

B. Arbeitslöhne.

Die Einheitspreise stehen natürlich im engsten Zusammenhang mit den Arbeitslöhnen. Obige Angaben wären daher unvollständig, wenn nicht auch diese aufgeführt werden, zumal die Löhne seit 1903 in ganz außerordentlicher Weise in die Höhe gegangen sind.

Während des Baues der Albulabahn (1901/03) stellten sich die Arbeitslöhne folgendermaßen:

	Ausgezahlte Taglöhne:
Meßgehilfen	Fr. 3.50 — 4.—
Erdarbeiter	„ 3.20 — 3.50
Mineure außer Tunnel . . .	„ 3.30 — 3.60
„ im Tunnel	„ 3.60 — 4.—
Handlanger	„ 3.— — 3.30
Maurer	„ 4.50 — 5.50
Steinhauer	„ 4.75 — 5.75
Vorarbeiter	„ 4.50 — 5.—
Aufseher (Monat)	„ 180 — 250
Hierzu Krankenkasse	„ 2 % der Löhne
„ Unfallversicherung . .	„ 8 ½ % „ „

Im Jahr 1907 stellen sich die Löhne ca. 20 % höher als 1903.

Die Unfallversicherung kostet jetzt 11½ % der Löhne, Aufseher werden mit 250—350 Fr. bezahlt und die Arbeitsdauer im Freien ist von 11 auf 10 Stunden vermindert.

e) Arbeiterzahl und Krankenpflege.

(Ohne Albulatunnel.)

1. Arbeiterzahl.

Jahr	1900			1901			1902			1903			1904		
Monat	Tunnel	Im Freien	Zusamm.	Tunnel	Im Freien	Zusamm.	Tunnel	Im Freien	Zusamm.	Tunnel	Im Freien	Zusamm.	Tunnel	Im Freien	Zusamm.
Januar	—	—	—	842	235	1077	744	109	853	111	19	130	—	—	—
Februar	—	—	—	959	209	1168	886	116	1002	91	49	140	—	—	—
März	—	—	—	1040	394	1434	1023	544	1567	77	174	251	9	23	32
April	—	—	—	1253	969	2222	993	315	1308	65	653	718	38	103	141
Mai	—	—	—	1139	2357	3496	951	2530	3481	107	1083	1190	27	306	333
Juni	—	—	—	1183	2642	3825	687	2707	3394	91	908	999	4	382	386
Juli	—	—	—	1168	3101	4269	610	2676	3286	80	271	351	—	258	258
August	—	—	—	1211	3120	4331	478	2264	2742	96	309	405	—	168	168
Sept.	—	539	539	1038	2614	3652	381	1716	2097	93	271	364	—	—	—
Oktober	—	791	791	905	2023	2928	348	1170	1518	90	268	358	—	—	—
Nov.	502	649	1151	757	973	1730	244	608	852	90	108	198	—	—	—
Dezemb.	687	388	1075	174	734	908	181	93	274	56	39	95	—	—	—

Die größte Arbeiterzahl (4331 Mann) war im August 1901 vorhanden, doch hatte der Sommer 1902 ebenfalls noch einen großen Arbeiterstand. Die nach der Bahneröffnung (1. Juli 1903) aufgeführten Arbeiter waren teils bei der Herstellung von Schutzbauten, sowie der Bergüner Rutschung, größtenteils aber in der Strecke Celerina-St. Moritz beschäftigt.

2. Krankenpflege.

Die Krankenpflege wurde auf Grund genehmigter Statuten vom April 1899, unter Aufsicht der Sektionsingenieure durch die Unternehmungen besorgt. Die hierfür den Arbeitern gemachten Abzüge betrugen 1½ % der Arbeitslöhne. Im ganzen war der Gesundheitszustand ein guter und es blieb die Bauperiode glücklicherweise von ansteckenden Krankheiten verschont.

Gegen Unfall wurden die Arbeiter von den Unternehmern gegen ca. 8½ % des Lohnbetrages bei verschiedenen Gesellschaften versichert.

Es waren für die Nordseite gut ausgestattete Spitäler in Surava und in Preda, überdies in Filisur und Bergün einzelne Krankenzimmer eingerichtet und mit den Aerzten des Bezirks Verträge über die Behandlung der Kranken und Verwundeten abgeschlossen. Im Engadin wurden die kranken und verwundeten Arbeiter auf Grund eines Uebereinkommens in dem vorzüglich eingerichteten Samadener Hospital verpflegt.

Unter den Unfällen ist ein besonders trauriges Ereignis hervorzuheben, welches sich am 9. August 1901 am obern Ausgang des Greifenstein-Kehrtunnels begab, wo drei Maurer und ein Handlanger von dem herabstürzenden Material getötet wurden, als sie bei der von innen nach außen fortschreitenden Mauerung — bei geringer Ueberlagerung — anläßlich der Aufstellung der Lehrbögen einen Tagbruch herbeiführten. Die Ursache dieses Einbruchs bestand darin, daß die Arbeiter den Längsverband der Tunnelbölzung gelöst hatten, bevor die vorgeschriebene Abstützung der Lehrbögen unter sich und nach außen hergestellt war — eine Unterlassung, die leider schon viel Unheil angerichtet hat.

Es ist schon weiter oben erwähnt, daß an dieser Stelle bei den Abräumungsarbeiten der hochverdiente Sektionsingenieur Perbs in dem Trichter des Einsturzes durch einen gelösten Stein tötlich getroffen wurde.

Auch des trefflichen Unternehmers Munari mag an dieser Stelle nochmals gedacht werden, der am 29. April 1902 im Schyn bei der Leitung einer schwierigen Arbeit durch ein herabstürzendes Holz getötet wurde.

f) Abrechnung und Kosten des Unterbaus.

Bei der Abrechnung mit den Haupt-Unternehmungen des Unterbaus ergaben sich zahlreiche Nachforderungen in zum Teil sehr hohen Beträgen, deren Summe ca. 1½ Millionen ausmachte.

Dieselben waren laut Vertrag nicht berechtigt, es wurden jedoch von den Organen der Bauleitung diejenigen Arbeiten erhoben, bei denen Schwierigkeiten ganz unvorhergesehener Art eingetreten waren. Da die vertraglichen Einheitspreise absichtlich nur für mittlere Verhältnisse ermittelt waren, so erschien es billig und war auch von vornherein beabsichtigt gewesen, den Unternehmern für ganz außerordentliche Erschwernisse freiwillig eine Entschädigung zu gewähren. Dementsprechend wurde für jede Unternehmung eine ihr zuzubilligende Aufzahlung ausgerechnet und — ohne auf Einzelverhandlungen einzutreten — den Unternehmern mitgeteilt, daß man bereit sei, die Verdienstsumme aus Billigkeitsgründen um eine von der Bauleitung ermittelte Aufzahlung zu erhöhen, sofern die Unternehmung bedingungslos die Abrechnung in dieser Form anerkenne.

Auf dieser Grundlage ward mit allen Unternehmern in verhältnismäßig kurzer Zeit gütlich abgerechnet.

Die Aufbesserungen erreichten den Gesamtbetrag von Fr. 395,500.—. Hierin sind für den Rugnuxtunnel Fr. 140,000.— enthalten, wobei noch anzufügen ist, daß außerdem der Exekutionsbau im Rugnuxtunnel — im Betrag von Fr. 139,000.— — auf Kosten der Rhätischen Bahn übernommen und der Fehlbetrag desselben im Betrag von Fr. 64,000.— der Unternehmung nicht zur Last gerechnet wurde. Diese beiden Beträge von zusammen Fr. 279,000.— sind daher in folgender Zusammenstellung dem Kostenbetrag des Rugnuxtunnels hinzugefügt.

In der folgenden Zusammenstellung sind also einerseits die vertraglichen Abzüge des Abgebots, andererseits die Aufzahlungen berücksichtigt, welche nachträglich bewilligt wurden.

Die Abzüge des Abgebots im Betrag von 3—12% der Verdienstsummen ergeben Fr. 646,000 oder 6% im Durchschnitt, während die Aufzahlungen Fr. 435,000.— oder 4% betragen. Eliminiert man daraus die Mehrkosten des Rugnuxtunnels, als eines Faktors ganz besonderer Art, so würden die Aufzahlungen nur Fr. 295,000.— oder 2¾% betragen. Man kann daher sagen, daß abgesehen vom Rugnuxtunnel, die Einheitspreise hoch genug waren, um bei einem mittleren Angebot von ca. 3% — ohne Aufzahlung — bei den damaligen Arbeitslöhnen noch einen „bürgerlichen" Gewinn abzuwerfen.

Ergebnisse der Abrechnung mit den Hauptunternehmern des Unterbaus.

(Ohne eiserne Brücken, eiserne Geländer, ohne Glatscherastunnel, sowie ohne Schutzbauten gegen Lawinen — mit Ausnahme der Chaneletta-Galerie — welche Arbeiten durch besondere Unternehmer hergestellt wurden.)

Gegenstand	Thusis-Filisur 22,8 km Fr.	Filisur-Preda 21,6 km Fr.	Spinas-St. Moritz 11,3 km Fr.	zusammen 55,7 km Fr.
1. Erdarbeiten usw.	1·109,400	1·599,800	744,900	3·454,100
2. Tunnel . . .	1·704,700	2·497,700	278,000	4·480,400
3. Brücken . . .	1·349,200	778,200	197,800	2·325,200
4. Beschotterung .	112,400	109,700	54,000	276,100
5. Wegbauten . .	23,000	18,600	59,100	100,700
6. Uferbauten . .	32,100	24,900	25,300	83,200
7. Zusammen . .	4·330,800	5·028,900	1·359,100	10·718,800

Um die Gesamtsumme der Unterbaukosten (ohne Albulatunnel) zu erhalten, müssen zu Obigem alle Kosten derjenigen Arbeiten hinzugefügt werden, welche nicht von den Hauptunternehmern ausgeführt wurden, einschließlich der bereits erwähnten, nach der Bahneröffnung hergestellten umfangreichen Schutz- und Ergänzungsbauten.

Da bis Ende 1905 ($2^1/_2$ Jahre nach der Bahneröffnung) die sämtlichen Anlagen als fertig angesehen werden können, so ergeben sich die Gesamtkosten des Unterbaus (ohne Albulatunnel) am besten aus den nachfolgenden Beträgen, welche bei der Hauptkasse der Rhätischen Bahnen verrechnet sind.

Unterbaukosten bis Ende 1905.

a) Erdarbeiten, Mauern, Schutzbauten . . .	Fr.	3,824,024.—
b) Kleine Tunnel und Galerien	„	4,702,729.—
c) Brücken und Durchlässe	„	2.523,023.—
d) Beschotterung	„	350,411.—
e) Chaussierung	„	110,340.—
f) Uferbauten	„	89,539.—
g) Verschiedenes	„	43,799.—
Zusammen	Fr.	11,643,865.—

Bemerkung zu a) Hierin sind für Schutzbauten gegen Lawinen und Steinschlag Fr. 393,893 enthalten (nach Abzug der eidgen. Subvention im Betrag von Fr. 139,917). Die Kosten der durch den Glatscherastunnel (bei der Bergüner Rutschung) überflüssig gewordenen äußeren Linie sind mit Fr. 119,880.— in Abzug gebracht.

„ zu b) Der Glatscherastunnel ist hierin mit Fr. 177,934.— enthalten.

„ zu d) Dieser Betrag enthält auch die Kosten der Gleisunterhaltung während der ersten sechs Betriebsmonate.

Die Beschotterung des Albulatunnels ist mit Fr. 60,000.— in Abzug gebracht.

Aus obigem ergeben sich folgende kilometrische Kosten:

a) Erdarbeiten	per km	offene Bahn	(45,544 km)	Fr.	83,963.—
b) Tunnel	„ „	Tunnel und Galerien	(10,543 km)	„	446,000.—
c) Brücken	„ „	offene Bahn	(45,544 km)	„	55,397.—
d) Beschotterung	„ „	Gesamtlänge	(55,878 km)	„	6,272.—
e) Chaussierung	„ „	offene Bahn	(45,544 km)	„	4,422.—
f) Uferbau	„ „	„ „	„	„	1,966.—
g) Verschiedenes	„ „	„ „	„	„	961.—

Gesamte Unterbaukosten per km Gesamtlänge (55,878 km) ohne den Albulatunnel „ 208,380.—

5. Die Aussteckung der Tunnel.

Von W. Graf, Sektionsgeometer. (Aus der Schweiz. Bauzeitung, Bd. XL.)

(Tafel 21.)

I. Der Albulatunnel.

Durch eine frühere Triangulation war für den Baubeginn die Richtung der beidseitigen Vortriebstollen annähernd festgestellt und auf jeder Seite durch einen festen Punkt, als „Observatorium Nord" und „Observatorium Süd", bezeichnet worden. Die Lage dieser zwei Richtungspunkte der Tunnelgeraden war durch eine Spezialtriangulation bestimmt, die auf jeder Seite des Albulahöhenzuges an drei neuberechnete Dreieckspunkte der eidgenössischen Triangulation anschloß. Mit dieser Triangulation wurden, wie aus Abbildung 1 ersichtlich ist, auf jeder Bergseite einschließlich der beiden Observatorien vier neue Punkte festgelegt und aus den Resultaten diejenigen Winkel abgeleitet, welche die gesuchte Tunnelrichtung mit den anstoßenden Dreiecksseiten auf den Observatorien bildet. Die erste Triangulierung war von Ing. R. Wildberger in Chur ausgeführt, welcher auch die erste provisorische Absteckung der Achse über den Berg gemacht hatte. Auf dem topographischen Bureau in Bern wurde die Kontrollberechnung der Anschluß- und neuen Signale von Ingenieur Oberst Reber vom eidgenössischen topographischen Bureau durchgeführt, der auch während des Baues die Hauptkontrolle der Richtungsangaben im Tunnel ausübte. Die letzte Triangulation zur Tunnellängenbestimmung wurde von Sektionsgeometer W. Graf vorgenommen, der dann zusammen mit Ingenieur Reber die definitive Achse über den Berg absteckte und im Tunnel während des Baues die Achsabsteckungen besorgte. Die ganze Arbeit war infolge der geringeren räumlichen Ausdehnung des Operationsgebietes, der geringeren Länge des Tunnels, sowie auch wegen der großen Höhenlage desselben von 1814 m ü. M. mit weniger Schwierigkeiten verbunden, als dies z. B. bei den Richtungsbestimmungen für den Gotthard- und den Simplontunnel der Fall war.

a) Triangulation. Wie bereits angeführt, war die Lage der Tunnelgeraden durch die zwei fest angenommenen Punkte „Observatorium Nord" und „Observatorium Süd" bezeichnet, und zwar sollte die Lage jedes dieser Punkte aus drei Signalen abgeleitet und dann zur völligen Sicherheit die Gerade über den Berg abgesteckt und auf dem Gipfel durch von den Observatorien aus sichtbare Signale bezeichnet werden. Die Anlage des Dreiecksnetzes wird durch Abbildung 1 veranschaulicht. Die Observatorien und Signalpunkte wurden bezeichnet durch in Zementmörtel gemauerte Signalpfeiler von den aus Abbildung 2 ersichtlichen Abmessungen. Als Zentrum galt der Mittelpunkt der in den Pfeiler eingelassenen Eisenröhre von 8 cm lichtem Durchmesser, in die — zum Anvisieren von den andern Signalen aus — eine Holzstange von 75 mm Durchmesser und etwa 2 m freier Höhe gestellt wurde. Der Observatoriumspfeiler auf der Südseite, der auf dem Schuttkegel eines von Chô d'Valletta herunterkommenden Lawinenzuges liegt, wurde oberhalb durch eine in der Lawinenrichtung liegende, den Pfeiler überragende dachförmige Schutzmauer von etwa 3 m Länge versichert; zugleich wurde gegen das Pfeilerfundament ein Strebepfeiler in Mörtel von etwa 2,2 m Länge und 2 m Breite erstellt, sodaß jede Gefahr einer Beschädigung durch Lawinen ausgeschlossen erschien.

Die Winkelmessungen wurden teils im Herbst 1898, teils im Frühjahr 1899 vorgenommen. Zur Verwendung kamen Repetitionstheodolite von Kern & Cie. in Aarau mit Teilkreisen von 21 und 24 cm. Sämtliche Winkel wurden in beiden Fernrohrlagen fünf- bis sechsmal gemessen, im ganzen zehn- bis zwölfmal repetiert und in gleicher Weise ebenfalls die Ergänzungswinkel zu 360° für jeden Winkel bestimmt.

Die Witterung war für die Winkelbeobachtungen meistens günstig. Die Messungen wurden vom 2.—16. September und vom 5.—8. Dezember 1898 ausgeführt, während im Juni und Juli 1899 noch die Ergänzungswinkel für die definitive Tunnellängenbestimmung zu messen waren.

Berechnung der Tunnellänge. Aus den neuerdings berechneten Koordinaten der Anschlußsignale III. Ordnung des eidgenössischen Triangulationsnetzes — nordseits aus jenen der Signale: Prosonch, Rugnux dadains und Muot sureint, südseits aus jenen von Bevers, Piz Mezzem und Muot Gravatscha — wurden die Längen, Richtungswinkel und Koordinaten der neuen Signale, einschließlich der beiden Observatorien abgeleitet; man fand hierbei für

Observatorium Nord . . y — 178 362,91 x + 37 204,87
„ Süd . . y — 185 757,28 x + 41 359,87

woraus sich ergab:

Azimut Observatorium Süd — Observatorium Nord = 119° 19′ 56″.

Länge zwischen Observatorium Süd und Observatorium Nord

(log. 3,9 284 873) = 8 481,79 m auf Meereshöhe,

oder auf die Höhe von 1810 m ü. M. bezogen = 8 484,18 m.

Durch die beidseitige Spezialtriangulation mit ergänzender direkter Längenmessung wurden bestimmt:

Die Länge von Observatorium Nord bis zum ausgeführten Portal bei Preda	= 1 069,43 m
Diejenige vom Observatorium Süd bis zum Tunnelportal in Spinas . .	= 1 548,72 „
Zusammen . .	2 618,15 m
Womit die Länge des Albulatunnels mit	5 866,03 m

gegeben war. Eine Kontrollwinkelmessung, die anläßlich der letzten Hauptabsteckung zu Ostern 1902 auf je einem in der Tunnelachse liegenden Punkt der beiden Stationsplateaus vorgenommen worden ist, ergab mit pothenotischer Berechnung ein mit obiger Länge vollständig übereinstimmendes Resultat.

Die spätere Messung ergab eine Länge von 5 864,5 m.

b) Richtungsangabe vor und im Tunnel. Mit Hilfe der in der Berechnung gefundenen Azimute der von den beiden Observatorien ausgehenden Dreiecksseiten wurden die Winkel abgeleitet, welche die anzugebende Tunnelrichtung daselbst mit diesen anstoßenden Dreiecksseiten bildet, und dann mit diesen Winkeln ein Achspunkt in die Nähe des Richtstollens übertragen.

Nachdem die Richtung anfangs Juli von Sektionsgeometer W. Graf annähernd auf dem Gipfel des Piz Giumels bestimmt und weitere Vorbereitungen zur Absteckung getroffen waren, wurde die Tunnelrichtung auf dem Berggipfel im Juli 1899 zur größeren Sicherheit von den Ingenieuren Reber und Graf nochmals kontrolliert. Zur Verwendung kam hierbei ein großer Theodolit von 24 cm Teilkreis, mit sehr empfindlichen Libellen. Bei dieser Absteckung war es leider nicht möglich, von einem einzigen Instrumentstand aus beide Observatorien gleichzeitig zu sehen. Es mußten zwei Stationen gemacht werden, die etwa 15—20 m auseinander lagen, und ein indirekter Richtungspunkt an dem nordwestwärts liegenden scharf gezackten Kamm des Rugnux dadains angenommen werden, der auch von der zweiten, südlichen Station auf Piz Giumels aus sichtbar war. Die Absteckung ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

Von der Südstation aus war auch das Signal „Observatorium Süd“ sichtbar. Mit großer Mühe wurden zwei Punkte festgelegt, seitlich versichert und durch eingemauerte Signalstangen bezeichnet, die von den betreffenden Observatorien aus sichtbar waren.

Für alle weitern Richtungsangaben von den Observatorien aus sind während des Baues dann ausschließlich diese Signale benutzt worden; zugleich wurde auch, um von schlechter Witterung und von Nebel unabhängig zu sein, auf jeder Seite in nicht allzugroßer Höhe über dem Tunnel eine Visiermarke errichtet. Diese Visiermarke wurde auf einer solid befestigten, weiß bemalten Tafel von 1 m² durch einen 2 cm breiten schwarzen Strich gebildet, dessen Mittel durch zehnmalige Einvisierung vom Observatorium aus bestimmt war. Bei einer Entfernung dieser Visiermarken von rund 2000 und 2600 m vom Observatorium, ergaben dieselben gute Anhaltspunkte für die Achsangaben in den Tunnel hinein.

Nach dieser Feststellung der Tunnelrichtung außerhalb des Tunnels wurden beiderseits bei den Tunnelportalen (bezw. etwa 60 m innerhalb) je ein guter Richtungspunkt angegeben,

von dem aus mit Hilfe des bezüglichen Observatoriums die weitere Richtungsangabe in den Tunnel hinein erfolgte. Für diese Hauptrichtungspunkte waren in der Tunnelsohle ungefähr auf Planiehöhe 50—70 cm lange Holzklötze von 30 cm Durchmesser einbetoniert und in dieselben große Eisennägel mit flachen, 5—6 cm breiten, versenkten Köpfen eingelassen. Die Angabe der Achsrichtungen im Tunnel bestand somit in der Verlängerung einer durch zwei Punkte bestimmten Geraden in den Tunnel hinein bis zur Durchschlagsstelle. Es wurde bei diesen Einvisierungen mit einer Kreisstellung in beiden Fernrohrlagen die Richtung angegeben und dann der Kreis um 60° gedreht, worauf weitere zwei Angaben in den beiden Fernrohrlagen erfolgten. Dieser Vorgang wiederholte sich je nach der Bedeutung des zu bestimmenden Punktes vier- bis sechsmal. Das erhaltene Mittel der auf einem Papierstreifen verzeichneten Einzelvisuren wurde als definitive Richtung angenommen, auf den Nagel heruntergelotet und daselbst mit einem Kreuz bezeichnet.

Während des Stollenvortriebes wurden vom Personal der Tunnelbauführung ungefähr alle 100 m provisorische Richtungspunkte angegeben, die dann von Zeit zu Zeit und je nach Bedürfnis, gewöhnlich nach etwa 300 m Fortschritt, von dem mit der Achskontrolle im Tunnel beauftragten Sektionsgeometer nachkontrolliert wurden. Alle 600 m, entsprechend der Länge des bei den Achskontrollen verwendeten Telephonkabels, wurde ein Hauptrichtungspunkt erstellt. Die Hauptachskontrolle wurde jährlich einmal auf jeder Seite durch Ingenieur Reber ausgeführt.

Zur Längenmessung diente ein Stahlmeßband von 16 mm Bandbreite, das vorher auf dem Komparator der eidgenössischen Eichstätte in Bern verglichen war. Die Messung geschah während des Arbeitsbetriebes durch vier- bis sechsmalige Messung der Einzelabschnitte, wobei die Temperatur des Stahlbandes durch Messung der Wassertemperatur auf der Meßstrecke ermittelt und in die Berechnung einbezogen wurde.

Als Ausgangspunkte für die Höhenkontrolle dienten die bei den Hauptkontrollen auf ihre Höhe untersuchten Höhenfixpunkte, welche auf den einbetonierten Achspflöcken selbst jährlich einmal vom Portal aus einnivelliert wurden. Zu diesem Zwecke waren in der Nähe jedes Portales Höhenfixpunkte angebracht, deren Höhenlage wieder von den in nicht zu großer Entfernung von den beiden Tunnelmündungen befindlichen Höhenpunkten des eidgenössischen Fixpunktnivellements aus abgeleitet war. Zur Verwendung kamen dabei ein Nivellierinstrument von Kern & Cie. und eine aus der gleichen Fabrik stammende Reversionsmire von 2 m Länge.

c) Apparate und Einrichtungen. Zur Richtungsangabe im Tunnel diente ein Repetitionstheodolit (Abbildung 4) von Kern & Cie. von 21 cm Kreisdurchmesser gewöhnlicher Konstruktion, dessen Fadenkreuz durch eine am Objektivring des Fernrohres unter einem Winkel von 45° aufgesteckte, in der Mitte durchbrochene Blende mittels Kerzen- oder Acetylenlicht beleuchtet wurde.

Sowohl für die Lampen als auch für die Absteckungsinstrumente bediente man sich im Innern des Tunnels solider, hölzerner Stative mit eisernem, abhebbarem Aufsatz (Abbildung 5) von ähnlicher, jedoch etwas leichterer Konstruktion, wie solche bei den Absteckungsarbeiten am Simplontunnel gebraucht wurden; diese Stative wie auch die zugehörigen Beleuchtungsapparate hatte die mechanische Werkstätte von Pfister & Streit in Bern geliefert. Das Oberstativ, d. h. der Aufsatz, besteht aus zwei eisernen, etwa 15 mm dicken Platten, wovon die untere mit drei angenieteten Lappen zum Befestigen am Teller des Stativdreifußes versehen ist. Die obere Platte, der Schlitten, hat wie die untere einen kreisrunden Ausschnitt von 10 cm Durchmesser und kann zwischen zwei schräg abgefasten Führungsleisten mit einer Mikrometerschraube seitlich verschoben werden. Auf der einen Leiste ist eine Klemmvorrichtung für den Papierstreifen, auf dem die Einzelvisuren aufgezeichnet werden, angebracht. Gegenüber der Klemmvorrichtung befindet sich auf dem Schlitten die Marke, längs welcher nach telephonischer Mitteilung, daß die einvisierte Lampe richtig eingestellt sei, durch einen Strich die Einvisierung auf dem Streifen markiert wurde. Sobald eine genügende Anzahl von guten Visuren vorhanden war, wurde das Mittel derselben auf den Pflock abgelotet und bezeichnet. Die Horizontalstellung des eisernen Aufsatzes geschah durch Unterschieben von flachen Holzkeilen zwischen Holzteller und Oberstativ.

Auf der Eisenplatte des Schlittens war zentrisch mit der Ausschnittsöffnung die Stellung der Fußschrauben für das Absteckinstrument und die Beleuchtungslampe bezeichnet, sodaß beim Vorrücken die betreffenden Apparate ohne weiteres an den richtigen Platz gestellt werden konnten.

Die Lampe bestand aus einem Acetylenbrenner mit dreiarmigem Träger; die Horizontalstellung wurde mit Zuhülfenahme einer Dosenlibelle durch drei Fußschrauben bewirkt. Durch einen Gummischlauch stand die Lampe mit dem Generator (System Dr. Gerster), der an einem Hacken unter dem Stativ aufgehängt war, in Verbindung.

Da die drei Stationen — der Nachtrupp mit Beleuchtungsapparat, der Absteckrupp mit dem Theodolit und, gegen den Richtstollen, der Vortrupp mit Beleuchtungsapparat — gewöhnlich in größerer Entfernung von einander waren und optische Signale aus verschiedenen Ursachen nicht anwendbar schienen, wurde zur Uebermittelung von Mitteilungen zwischen den Stationen ein Telephondienst eingerichtet mit drei Feldtelephonstationen und Feldtelephonkabeln von je 600 m Länge. Die Kabel wurden seitlich auf den Boden gelegt.

Durchschlagsergebnisse. Der Durchbruch des Richtstollens erfolgte, nachdem auf der Südseite der Vortrieb seit einigen Tagen eingestellt worden war, am 29. Mai 1902, morgens 3½ Uhr mit augenscheinlichem gutem Zusammentreffen. Der tiefer liegende Richtstollen der Nordseite wurde vorerst etwas weiter durchgeschlitzt und hierauf die beidseitigen Absteckungen von den letzten, vom 28.—31. März 1902 erstellten Fixpunkten aus, in gleicher Weise wie früher bis in die Nähe der Durchbruchstelle verlängert.

Bei dem Durchschlagspunkt, der 3070 m vom Nordportal und 2795 m vom Südportal entfernt ist, ergab sich eine Abweichung in der Länge von 1,150 m (Verkürzung)
" " " " Richtung " 0,050 m
" " " " Höhe " 0,048 m.

II. Kehrtunnel.

Für die Berechnung und Absteckung der fünf Kehrtunnel zwischen den Stationen Filisur und Preda wurde, den örtlichen Verhältnissen entsprechend, von der Vornahme einer umständlichen Spezialtriangulation mit Anschluß an die Landestriangulation Umgang genommen. Es wurde auf einfache Weise, jedoch mit wiederholten Messungen, die Lage der Tangenten zu einander bestimmt, die an die Kreisbogenstücke der Kehrtunnel gelegt waren. Mit Hülfe dieser Längen wurden die Absteckungselemente berechnet und während des Arbeitsfortschrittes auf das Feld bezw. in den Tunnel übertragen. Bei Absteckung der Bogenpunkte im Tunnel gelangte die Methode der Absteckung mittels Sehnen zur Anwendung, wobei darauf gehalten wurde, möglichst große und gleichlange Sehnen zu nehmen. Die Kilometerangaben haben ihren Nullpunkt in Thusis.

a) Greifensteintunnel bei Filisur (693 m). Bei diesem Kehrtunnel (Abbildung 6), der aus zwei Bogenstücken von je 120 m Halbmesser und einer Zwischengeraden von 244,0 m Länge besteht, waren gegeben: auf der Eingangsseite das Stück $T_5 - T_6 = 218{,}87$ m., sowie die Richtung der Tangente an den Kreisbogen von T_6 aus mit dem Winkel β. Auf der obern Seite eine Tangentenrichtung be — T_9 an den zweiten Bogen, sowie deren Länge. Durch Verlängerung dieser gegebenen Linien bis zu ihrem Schnitt in dem Punkt T konnte daselbst der Tangentenwinkel α gemessen werden; die Längen T_9—T und T—T_5 wurden ebenfalls direkt erhoben. Mit diesen Daten wurden alsdann durch Rechnung die weitern Anhaltspunkte für die Absteckung im Tunnel gefunden und danach der Sohlenstollen bezw. der Firststollen vorgetrieben. Der Stollenvortrieb geschah von der untern Seite von Km. 24,2806 bis 24,700, während von der obern Seite bloß etwa 260 m erbohrt wurden. Die nach dem am 23. August 1901 bei Km. 24,700 erfolgten Durchschlag des Richtstollens vorgenommene Kontrolle der Achsabsteckung ergab eine Abweichung in der Richtung von 8 cm,
in der Länge von 7 cm.

b) Kehrtunnel „God“ bei Bergün (485 m lang). Die Absteckung dieses in der Nähe des Dorfes Bergün gelegenen Kehrtunnels (Abbildung 7) war insoweit etwas komplizierter, als sich der Tunneleingang an einem Felshang befindet und der Tunnelausgang in einer Gegenkurve vom gleichen Halbmesser liegt. Immerhin konnten alle Absteckungselemente auf direktem Wege durch Messung bestimmt werden. Für die Absteckung in das Innere des Tunnels hinein wurden bei beiden Tunnelmündungen Achspunkte (Km. 33,450 und Km. 33,950) berechnet und ins Feld übertragen. Von diesen zwei Achspunkten aus erfolgten dann die weiteren Richtungsangaben im Richtstollen und zwar auf der untern Seite von Km. 33,450 bis nach Km. 33,8218 und auf der obern Seite von Km. 33,950 bis Km. 33,3218. Der Stollendurchschlag erfolgte am 7. Oktober 1901 bei Km. 33,809. Die nachträgliche Durchschlags-Achskontrolle ergab bei dem von beiden Seiten her bestimmten Achspunkt bei Km. 33,8218 eine Abweichung in der Richtung von 0,02 m, in der Länge von 0,03 m.

c) „Rugnux“-Kehrtunel (661 m lang). Für die Berechnung des Korbbogens, der aus zwei Bogenstücken von 155 und 120 m Halbmesser besteht (Abbildung 8) und im letzten kleinern Teil als offener Felsanschnitt um einen Ausläufer des Rugnux dadains herumgeführt wird, waren gegeben: Die Richtung der Anfangstangente T_1—A, ebenso diejenige der Ausgangstangente be—T, sowie die Lage des Punktes be am Korbbogenende. Der Schnittpunkt der beiden Berührenden war jedoch nicht direkt bestimmbar, da sich zwischen dem Hilfspunkt B und Tangentenschnitt T_2 ein Felskopf befand. Durch Messung der Hilfslinie A—B und der nötigen Winkel wurde die Lage von T_2 sowie der Winkel der Tangenten daselbst berechnet, worauf die Berechnung des Korbbogens möglich war. Die Absteckung auf der untern Seite mit dem Bogen von 155 m Radius war einfach, während auf der oberen Seite etwas kompliziertere Operationen nötig waren. Vom Korbbogenende, d. h. dem Punkte C, aus wurden Tangenten an den reinen Bogen berechnet und von hier aus der Punkt D abgesteckt, der auf der Zwischentangente an den vor dem Ausgangsportal liegenden Kreisbogenpunkt E (Km. 39,353) liegen sollte. Die Richtung dieser Zwischentangente wurde alsdann rückwärts von E über D nach dem Punkt S auf der Eingangstangente verlängert. Ueber dem Schnittpunkt S dieser zwei Tangenten wurde ein Pfeiler errichtet mit zentrischer Röhre und die in diese Röhre eingesteckte Signalstange diente als Anschlußrichtung für die Absteckung auf der obern und untern Seite des Tunnels. Wegen sehr starkem Wasserzudrang auf der obern Seite wurde der Stollenvortrieb größtenteils von unten her ausgeführt und es erfolgte der Durchschlag am 16. Juli 1902 an der in Abbildung 8 bezeichneten Stelle bei Km. 39,161. Die Achskontrolle im Richtstollen ergab folgende Abweichungen:

In der Länge 0,30 m (Verkürzung),
in der Richtung 0,10 m.

d) Toua-Tunnel (676 m lang). Dieser Kehrtunnel (Abbildung 9) liegt im Talkessel bei Punt ota und besteht aus einem Korbbogen mit drei Bogenstücken von 120, 300 und 120 m Halbmesser.

Aus den Projektplänen wurden die beiden Korbbogentangenten durch die beiden Teilstücke 6—7 unten und 4—5 oben auf dem Feld bezeichnet, durch Auslichten des Waldes die notwendigen Durchsichten zwischen den Eckpunkten erstellt, und die Winkel, sowie die Seiten 4—5 und 6—7 gemessen, worauf durch Rechnung die Lage des Tangentschnittes bei T, sowie der Tangentenwinkel α erhalten wurde. Nach Entfernung des Waldes wurde später eine Kontrollberechnung mit Messung der Linie 6—7^a, sowie der bezüglichen Winkel bei 4, 5^a, 6 und 7^a vorgenommen, welche ein übereinstimmendes Resultat mit der ersten Berechnung ergab. Für die weitere Berechnung des Korbbogens waren dann die Lage des Korbbogenanfangs ba auf der untern, sowie des Korbbogenendes be auf der obern Tangente fest angenommen, wodurch dann auch die Größe der Mittelpunktswinkel der drei Bogenstücke, sowie die Länge der einzelnen Bogen bestimmt war. Da Bogenanfang und Bogenende aber 117 bezw. 64 m von den Tunnelportalen entfernt lagen, wurden in der Nähe derselben Achspunkte fest bestimmt und

die an diese Punkte des Bogens gelegten Tangenten auf dem Terrain an geeigneter Stelle durch stets sichtbare Signale oder Marken an Felsblöcken bezeichnet. Von diesen Hauptpunkten aus wurden beidseitig in den Tunnel hinein, in möglichst großen Abständen die Kontrollrichtungspunkte gegeben nach der bereits erwähnten Absteckmethode. Der Durchschlag des Stollens erfolgte am 31. Januar 1902 bei Km. 40,934. Die am 7. Februar vorgenommene Achskontrolle ergab Abweichungen in der Länge von 0,02 m, in der Richtung von 0,03 m.

e) Zuondra-Tunnel (535 m lang). Auch dieser letzte Kehrtunnel (Abbildung 10) auf der Nordseite der Albulalinie, der aus einem einfachen Bogen von 120 m Halbmesser mit einem kleinen Gegenbogen am unteren Ende besteht, liegt in einem dicht bewaldeten Abhang. Durch Messung der Zwischentangenten 6^a—T_7 und der Winkel in 6^a und T_7 war die Lage des Tangentenschnittes T_8, sowie auch jene des Kehrbogens bestimmt. Auf der untern Seite wurde die Tangentenrichtung T_8—T_9 auf dem linken Albula-Ufer an einem Felsen markiert; beim Tunnelausgang, der etwa 75 m vom Bogenende entfernt liegt, wurde eine Tangente an den Bogenpunkt Km. 42,500 gelegt und diese Richtung auf der gegenüberliegenden Talseite an einem Felsblock mit Farbe bezeichnet. Mittels dieser beiden Richtungen wurde die Richtungsangabe im Tunnel vollzogen. Nachdem am 11. Februar 1901 der Richtstollen durchbrochen war, wurde bei der Durchschlagskontrolle eine Abweichung

in der Richtung von 0,05 m,
in der Länge von 0,05 m festgestellt.

Die Höhendifferenzen bei dem Anschlußnivellement nach dem Durchschlag bewegten sich bei allen fünf Kehrtunnels in den Grenzen von 0 bis 3 cm.

B. Der Albulatunnel. 5864,5 m lang.

(Tafel 5, 22—30.)

1. Allgemeines.

Die Normalprofile für die Ausführung des Tunnels sind aus den Zeichnungsbeilagen ersichtlich. Die Höhe des Lichtraumes beträgt 5 m, die Breite 4,5 m und es übertreffen diese Maße diejenigen der kleineren Tunnel um 0,3 resp. 0,2 m.

Der Lichtraum mißt 19,91 m² gegen 23,2 m² des Simplontunnels und beträgt also 86 % davon. Das Gewölbe ist als Halbkreis konstruiert; die Wiederlager haben 1/20 Anlauf.

Von vornherein war Sohlstollenbetrieb, beidseitig mit Brandtscher Maschinenbohrung in Aussicht genommen, unter Benützung der naheliegenden Wasserkräfte.

Die erforderliche Wasserkraft wurde auf der Nordseite dem Palpuognasee, auf der Südseite dem Beverin entnommen. Man erwartete auf der Nordseite 200, auf der Südseite 150 PS. zu gewinnen, doch war die ganze Anlage von der Unternehmung allzu einfach und knapp gehalten und mußte später, als ein verstärkter Baubetrieb nötig wurde, vielfach umgestaltet werden; insbesondere stellte sich auch hinsichtlich der Wasserkraft später heraus, daß auf der Nordseite im strengsten Winter (im Februar) nur 140 PS., auf der Südseite nur 100 PS. vorhanden waren, so daß man sich genötigt sah, in Spinas noch zwei Lokomobile à 25 PS. in Reserve aufzustellen, welche beim kleinsten Wasserstand einzugreifen hatten.

Auf der Nordseite hat, wie es scheint, ein Teil des Niederschlagwassers sich direkt in den Tunnel ergossen, auf der Südseite ergab sich, daß im Februar 1902 ein km² Niederschlagsgebiet statt gerechneter 6, nur 4 Sekunden-Liter Wasser lieferte.

In der stärksten Bauperiode brauchte man auf jeder Seite für drei gleichzeitig arbeitende Bohrmaschinen bei 100 Atm. Druck 80 PS., für drei Ventilatoren bei 3000 m Leitungslänge zirka 30 PS., für die Werkstätten 25, zusammen also 135 PS. — In Preda war überdies elektrische Beleuchtung der Werkplätze, Werkstätten und Beamtenwohnungen eingerichtet, welche 15 PS. erforderte.

Für Preda wurde das Wasser in einem geschlossenen und bedeckten Holzkanal von 0,35 m Weite und Höhe, 560 m lang, mit fünf Luftschächten längs der Kantonalstraße vom Palpuognasee zum Wasserschloß oberhalb des Tunnelportales geführt, von wo anfangs nur eine eiserne Druckleitung von 0,3 m Weite zur Turbine des Maschinenhauses führte. Für den Regiebau wurden später aus dem Wasserschloß noch drei weitere, 0,2 m weite Druckröhren abgezweigt, welche zu drei kleinen Turbinen führten, deren jede einen der drei gekuppelten Ventilatoren anzutreiben hatte. Hierdurch erhielten Ventilation und Maschinenbohrung die erforderliche Unabhängigkeit, ohne welche die schwierige Angelegenheit der Lüftung nicht zu lösen ist. Die Druckhöhe zwischen dem Wasserschloß und den Turbinen betrug 75 m. Die Wasserspiegeldifferenz zwischen dem Palpuognasee und dem Wasserschloß betrug 53 m und mußte auch während des Regiebaus unbenutzt bleiben, da man zu dieser Zeit nicht mehr die ganze Anlage umgestalten konnte. Die Haupttturbine war für 160 PS. konstruiert, die Ventilationsturbinen für je 30 PS., die Beleuchtungsturbine für 15 PS.

Auf der Südseite wurde der Beverinbach an einer Stelle, wo das Bett im gewachsenen Fels liegt, durch ein gemauertes Wehr abgesperrt und das so entstandene Wasserbecken zum Schutz gegen Lawinen und Steinfall mit Baumstämmen überdeckt. Hieran schloß sich ein Klärbecken mit Leerlauf und Ueberfall. Ein 1200 m langer geschlossener und bedeckter Holzkanal von 70 cm Breite und 50 cm Höhe führte zum Wasserschloß, von welchem die Druckleitungen mit 60 m Druckhöhe und 250 m Länge wie bei Preda zu den Turbinen abzweigten.

Im Maschinenhaus wurden für den Regiebau beiderseits für drei gleichzeitig arbeitende Brandtsche Bohrmaschinen zwei Hochdruckpumpenpaare aufgestellt und an die Haupttturbine angeschlossen. Die auf 100 Atm. beanspruchten Druckleitungen der Bohrmaschinen wurden zuerst aus 70 mm weiten Muffenröhren erstellt; bei den späteren Anschaffungen zog man 80 mm weite Mannesmannröhren mit Doppelbörtelung vor.

Die Ventilation wurde durch drei hintereinander gekuppelte Ventilatoren von 1,5 m Durchmesser (Sulzer Nr. IX) bewirkt, welche bei 3000 m Leitungslänge und 1550 Touren per Minute durch eine schmiedeiserne Röhre von 350 bis 400 mm Weite zum Schluß noch mindestens 1 m^3 Luft per Sekunde vor Ort brachten. Dies genügte im vorliegenden Fall, da der Tunnelquerschnitt wenig durch Gerüste versperrt war und im letzten Kilometer vor dem Durchschlag nicht gemauert wurde.

Zwei Drittel der Ventilationsröhren hatten eine Lichtweite von 350 mm, der später angeschaffte Teil erhielt 400 mm Durchmesser und wurde, unter Auswechslung der engeren Röhren, in den fertigen Tunnelstrecken verwendet. Hierdurch wurde eine erhebliche Kraftersparnis erzielt, weil ja die Widerstände im Verhältnis der fünften Potenz des größeren Durchmessers abnehmen.

Die beidseitigen Werkstätten waren mit Drehbank, Bohrmaschine, Fraismaschinen usw. ausgerüstet. Hieran schlossen sich für Zwecke der Maschinenbohrung noch zwei größere Schmieden und eine kleine Gelbgießerei, während für die Handbohrung und sonstigen Werkzeuge besondere Schmieden eingerichtet waren.

Da an beiden Mündungen jede Unterkunft mangelte, mußte dieselbe durch Barakenbauten für die Arbeiter, Aufseher und Ingenieure beschafft werden, zu denen sich dann außer den Baulichkeiten für Magazine und Werkstätten die nötigen Bauten für die Verpflegung der Arbeiter, für Bad, Spital, Gottesdienst, Schule, Post usw. gesellten. So enstand beidseitig eine ganze Wohnkolonie, die mit Wasserleitung und Hydranten ausgestattet und in Preda auch mit elektrischem Licht versehen wurde. Die sofortige Herstellung der Stationshochbauten in Preda und Spinas kam ebenfalls der Unterkunft zu statten (Tafel 22).

Die größte Arbeiterzahl des Albulatunnels war im Juli 1902 beschäftigt, nämlich auf beiden Seiten zusammen 1316 Mann, von denen im Tunnel 984, im Freien 332 beschäftigt waren. Es mußte im Sommer auf jeder Seite Unterkunft für 600, im Winter für 500 Arbeiter vorhanden sein, da nicht geduldet wurde, daß eine der drei achtstündigen Schichten das Quartier einer gerade arbeitenden Schicht benützte.

In Preda wurde ein Bahnarzt angestellt und ein Spital errichtet, welches von italienischen Schwestern trefflich besorgt wurde. Diese Schwestern richteten auch für die kleineren Kinder eine Spielschule ein, während die Lehrer für die größern Kinder von den Gemeinden Bergün und Bevers beigestellt wurden. In Spinas war nur ein Krankenzimmer nötig, da Kranke und Verwundete in dem Bezirksspital Samaden verpflegt wurden. Die erforderliche Reinlichkeit in den Baraken und deren Umgebung wurde unter steter Einwirkung und Hilfe der Bauleitung nach und nach in befriedigender Weise herbeigeführt. Ein Beispiel einer Arbeiterbarake, wie sie von der Bauleitung erstellt wurden, ist auf Tafel 22 dargestellt.

Für die Dynamit-Magazine wurden an Hand der behördlichen Vorschriften geeignete Plätze gefunden und eingerichtet und es hat sich die bezügliche Manipulation stets ordnungsmäßig abgewickelt.

Die beim Tunnelbau verwendeten Schienen (für 10 km Gleis) wogen 15,5 kg per lfd. m. Die verwendeten Rollwagen, 330 an der Zahl, wovon 75 ohne Bremse, sind auf Tafel 27 dargestellt. Eine Lokomotive à 40, zwei à 30 und zwei à 25 PS. wurden zur Förderung angeschafft. Die stärkeren Maschinen lieferte Krauß in München.

Der eigentliche Tunnelbau wurde im Oktober 1898 durch beidseitige Inangriffnahme des Sohlstollens eingeleitet, welche zunächst in Regie der Rhätischen Bahnen geschah. Am 16. Januar 1899 wurde dann, wie schon erwähnt, der gesamte Tunnelbau an die sehr gut empfohlene italienische Bauunternehmung Ronchi & Carlotti, später Ronchi & Majoli zu Einheitspreisen übertragen, welche von der Unternehmung selbst aufgestellt waren. Als Termin für den Durchschlag des Sohlstollens war der 15. April 1902 festgesetzt. Sechs Monate später sollte der ganze Tunnel vollendet sein.

---

2. Fortgang der Arbeiten.

Auf Tafel 24 und 25 sind die Arbeitsfortschritte in zwei verschiedenen Weisen dargestellt, von denen die erste als Beilage der Monatsberichte bequem war, während die graphische Darstellung auf Tafel 25 die Einzelvorgänge deutlicher erkennen läßt und außerdem wertvolle Angaben über die Resultate der Maschinenbohrung enthält.

a) Nordseite bis zum Granit, 1258,5 m lang.

Am 13. Oktober 1899 konnte bei 376[1]) im Sohlstollen die maschinelle Bohrung mit zwei gleichzeitig arbeitenden Brandtschen Maschinen in Kalkschiefer beginnen, wobei zunächst ein monatlicher Stollenfortschritt von 100 m erzielt wurde. Wohl wurden bei 200 und 440 Quellen von zirka 8 Sekundenliter angetroffen, doch sind daraus bei dem verhältnismäßig soliden Gestein keine besonderen Schwierigkeiten erwachsen. Ungünstiger wurden die Verhältnisse, als bei 618 in brüchigem Gestein eine Quelle von 25 Sekundenliter angefahren wurde und ein platzregenartiger Wassersturz eine förmliche Arbeiterflucht hervorrief, so daß zunächst starker Stolleneinbau nötig wurde und die Maschinenbohrung sieben Tage lang unterbrochen war. Dieser Wasser-

[1]) Diese Zahlen geben die Entfernung vom Tunnelportal in Metern an.

zufluß begleitete, meist rückwärts nachlassend, fortan den Stollenvortrieb. Im Januar 1900 betrug der Wasserausfluß am Portal 41 Sekundenliter, von da an nahm derselbe stetig zu und betrug anfangs April bereits 74 Liter. Jedes Bohrloch war nun eine Quelle, das Laden der Schüsse war sehr erschwert und bei der niedrigen Wassertemperatur, welche in dieser Tunnelstrecke im Winter und Sommer nur 6° Celsius betrug, war die Gefahr vorhanden, daß die Dynamitladung im Bohrloch gefriere. Da die halb erstarrten Arbeiter fußhoch im Wasser standen, konnte das gesprengte Material nicht untersucht werden und so geschah es, daß durch einen beim Abschießen abgerissenen Dynmatrest, welcher sich in der Schuttmasse unter Wasser befand, bei 763, während der Schutterung eine Explosion hervorgerufen wurde, durch welche vier Mineure verunglückten. Unter diesen Umständen nahm die Leistung der Arbeiter erheblich ab und als Mitte April bei 1003 eine Quelle von 300 Liter einbrach, welche mit einem Wasserstrom von 60—70 cm Höhe das Gleis überschwemmte, wurden alle Arbeiten einige Tage hindurch gänzlich unterbrochen, bis man das Wasser, welches glücklicherweise bald abnahm, mittelst vorrätiger Ventilationsröhren gefaßt hatte. Der Richtstollen ging nun, mit häufiger Unterbrechung der Maschinenbohrung, langsam vorwärts. Ein großer Uebelstand war, daß infolge des Wassers die Sohle durchweg ungenügend ausgesprengt und an vielen Stellen das Gleis beträchtlich gehoben wurde, so daß man trotz 10‰ Gefälle von 600 bis 1200 im Richtstollen teils tief im Wasser, teils tief gebückt gehen mußte. In der Wasserstrecke war das Gestein dünnschiefrig und zerklüftet, so daß bei 840 und 1030 Deckenbrüche von 5 m Höhe erfolgten, deren Abbau sehr mühsam und zeitraubend war.

Ende Mai erreichte man bei 1100 den Zellendolomit und nun begannen eigentlich erst die großen Schwierigkeiten, welche die Maschinenbohrung von Anfang Juni 1900 bis Ende August 1901, also 15 Monate lang, unterbrachen.

Anfangs zwar hatte der Zellendolomit den Charakter eines leichten Tuffsteines, der sich ohne Maschinenarbeit leicht gewinnen ließ, als der Stollen aber am 29. Juli bei 1192 anlangte, brach plötzlich eine gewaltige Wassermenge in den Tunnel ein, welche so große Massen feinsten Dolomitsandes mit sich brachte, daß das Geleise und die ganze Stollensohle auf 500 m Länge damit bedeckt wurden.

Man war in einer Strecke angelangt, in welcher die Rauhwacke durch das auslaugende Wasser jeden Zusammenhang verloren hatte, sodaß die lockere Felsmasse in feinen Schlammsand zerfallen war.

In diesem schwimmenden Gebirge war nur mit sorgfältigster Getriebezimmerung vorwärts zu kommen. Die Unternehmung verlor bei dieser unfruchtbaren Arbeit immer mehr den Mut und es mußten die Arbeiten dieses Vortriebs vom 18. Oktober ab durch die Bauleitungsorgane weitergeführt werden. Aber trotz tüchtiger Mannschaft und außerordentlich mühseliger Anstrengungen war bei dem von oben und von unten zudringenden kalten Wasser der Fortschritt äußerst gering. In 2½ Monaten kam man nur um 6,3 m vorwärts; während 70 m³ nützlichen Aushubs gemacht wurden, mußten 1500 m³ hinausgefahren werden und als man Ende Dezember 1900 bei 1205 angelangt war, gelang es überhaupt nicht mehr, einen weiteren Türstock einzubringen.

Der Sohlstollen war also zum Stillstand gekommen.

Nach der an der Oberfläche über dem Tunnel erhobenen Formationsgrenze und Lagerung konnte jedoch der feste Fels nicht mehr fern sein, und da anzunehmen war, daß der Sohlstollen die Sandüberlagerung immerhin teilweise entwässert hatte, so wurde nun der Versuch gemacht, den bis 1185 gelangten Firststollen nun bis zum Casannaschiefer vorzutreiben.

Glücklicherweise gelang dieser Versuch und mit einem mittleren Tagesfortschritt von 0,25 m erreichte man am 15. April bei 1210 endlich das sichere Ufer des Casannaschiefers.

Die wasserreiche Strecke war 600 m lang. Im schwimmenden Gebirge befand sich der Tunnel nur auf 18 m Länge. Wäre diese Länge größer gewesen, so hätte man zum Eisenschild greifen müssen.

Während dieser Zeit war die Mauerung vom Portal bis zur Druckstrecke vollendet worden und man stand jetzt vor der schwierigen Aufgabe, in der Druckstrecke von 1190—1210 den Vollausbruch und die Mauerung herzustellen.

Nach eingehender Beratung entschloß man sich in diesem Ausnahmefalle, zuerst das Gewölbe herzustellen, da der deformierte Sohlstollen keinerlei Stütze bot (s. Tafel 26).

Mit äußerster Vorsicht wurde die Calotte für eine Ringlänge von 4 m ausgeweitet und dann sofort ein 75 cm starkes Gewölbe aus Granitquadern in Portlandzement-Mörtel erstellt. Erst nach Erhärtung eines Ringes ging man an die Ausweitung der nächsten Zone. Diese Gewölbeherstellung nahm die drei Monate April bis Juni in Anspruch, wobei namentlich im letzten Ring, in dem noch keine Entwässerung eingetreten war, außerordentlicher Gebirgsdruck und Wasserzudrang die Arbeit aufs äußerste erschwerte.

Zur Herstellung der Widerlager trieb man dann einen Mittelschlitz, der 1 m tiefer war als die Calottensohle, und stellte von diesem aus — wechselnd links und rechts — schachtartig den Aushub für die Widerlager in Strecken von 1,5 m Länge her, worin sofort mit äußerster Beschleunigung in Beton und Schichtstein das Widerlager-Mauerwerk eingebracht wurde.

Diese mühevolle und gefährliche Arbeit wurde mit einer allmählich vorzüglich geschulten Mannschaft am 20. Juli glücklich beendet.

Ein Sohlgewölbe war in dieser Strecke in Aussicht genommen, erwies sich jedoch nicht mehr notwendig, weil der Sand, nachdem das Wasser seinen Abzug gefunden hatte, wieder sehr fest gelagert war.

Nach dieser Arbeit befindet sich hinfort der Tunnel in solidem Fels und bei 1260, wo man den Granit antraf, begann am 25. August neuerdings die Maschinenbohrung.

Im August wurde zugleich die ganze äußere Strecke, einschließlich des Kanals in Regie vollendet, sodaß im September 1901 das gesamte Wasser von ca. 250 Sekunden-Liter endlich regelrecht abfloß. Diese Regulierung der Sohle gab insbesondere in der 600 m langen Wasserstrecke sehr viel Arbeit, weil dieselbe, wie bereits erwähnt, sehr unregelmäßig ausgesprengt war, und gestaltete sich besonders gefährlich, weil wiederum am Boden unter Wasser vielfach Dynamitreste von nicht explodierten Patronen der Maschinenbohrung sich vorfanden. Wurden dieselben zufällig angeschlagen, so ergaben sich Explosionen, welche auffallend häufig Augenverletzungen herbeiführten.

Die Anordnung des Kanales ist dem Wasserzudrang angepaßt und auf Tafel 23 dargestellt.

Hinsichtlich der Ausmauerung ist zu bemerken, daß dieselbe — mit Ausnahme der Druckstrecke — in Bruchstein aus den vorzüglichen lagerhaften Triaskalken erfolgte, die aus einem nahe dem Tunnelportal gelegenen Steinbruch kamen. Der Mörtel wurde in trockenen und feuchten Strecken mit hydraulischem Kalk, in nassen Strecken mit Portlandzement angemacht, Materialien, die wie bereits erwähnt, größtenteils aus Unterterzen am Wallensee kamen. Bei heftigem Wasserzudrang kam indes rasch bindender Grenoblezement zur Verwendung.

Mit Ausnahme einer kurzen Strecke im Casannaschiefer wurde die ganze rückwärts vom Granit liegende Strecke ausgemauert und es kamen folgende Typen zur Ausführung:

37,5 m	nach Type	I (im Casannaschiefer)
1097	„ „ „	III
82	„ „ „	IV
42	„ „ „	V (ohne Sohlgewölbe)
1258,5 m		

b) Südseite bis zum Granit, 260 m lang.

Die südliche Eingangsstrecke im Sand mit großen Findlingen erwies sich infolge Wasserzutrittes, der den feinen Sand sehr beweglich machte, als ziemlich schwierig. Die durch Sandspülung beweglich gewordenen Felsblöcke übten oft unvorhergesehenerweise konzentrierten Druck auf einzelne Stellen der Bölzung aus, wodurch seitliche und vertikale Verschiebungen des Einbaus hervorgerufen wurden.

Die Unternehmung stellte daher bei 133 vorläufig den Sohlstollenbetrieb ein, um den Vollausbruch und die Mauerung bis zu dieser Stelle zu fördern und den Stollen nicht zu lange der Sandspülung auszusetzen.

Beim Vollausbruch traten vielfach Setzungen der Bölzung ein, welche ein Fächersystem bildete und ungenügend verspannt war. Fortwährend mußte aufgefirstet werden, und es bildete sich infolge des ausgespülten Sandes in der Ueberlagerung ein tiefer Graben aus. So war man bis 108 gelangt und mit dem Ausbruch der folgenden Zone beschäftigt, als am 19. November 1899 der Einbau der beiden letzten Ringe nachgab und auf eine Länge von 12 m zusammenfiel, wobei sich der Einbruchtrichter bis an die Erdoberfläche, ca. 25 m hoch, ausdehnte. Menschen wurden hierbei glücklicherweise nicht verletzt.

Die Rekonstruktion geschah, entgegen der Meinung der Unternehmung, welche einen Schachtbau vorschlug, mit Hilfe eines stark konstruierten Sohlstollens, auf dem sich eine durch Unterzüge fest verbundene Firstschlitz-Zimmerung aufbaute. Die Rekonstruktion wurde von der Bauleitung der Rhätischen Bahn, jedoch auf Rechnung der Unternehmer durchgeführt, nahm vier Monate in Anspruch und war Ende Juli 1900 ohne Zwischenfälle beendet (s. Tafel 27).

Während dieser Zeit war ein Firststollen weiter vorgetrieben, der im März 1900 bei 170 feste Grundmoräne erreichte. Von hier zeigten sich keine weiteren Schwierigkeiten. Bei 260 wurde der Granit angefahren und am 17. Oktober 1900 begann bei 323 die Bohrung mit zwei Maschinen.

Auf der Südseite geschah die Ausmauerung mit Mörtel aus Palazzolokalk. Die zum Gewölbe verwendeten Granitsteine wurden größtenteils Findlingen aus der Umgebung des Tunnelausganges entnommen und mußten wegen ihrer geringen Spaltbarkeit vom Steinhauer angearbeitet werden.

Die Ausmauerung der Strecke vor dem Eintritt in den Granit enthält 37 m nach Type III und 223 m nach Type V (ohne Sohlgewölbe).

c) Die Granitstrecke, 4346 m lang.

Es ist hier einzuschalten, daß die Unternehmung Ronchi & Cie., sobald die beidseitigen Schwierigkeiten im Tunnel auftraten, sich ihrer Aufgabe nicht gewachsen zeigte, sodaß die Bauleitung die Herstellung des Richtstollens im Zellendolomit der Nordseite, sowie die Rekonstruktion des Tagbruches auf der Südseite selbst in die Hand nehmen mußte. Da zudem die Unternehmung auch durch anderweitige Geldverluste in finanzielle Bedrängnis kam und am 24. Februar 1901 erklärte, ohne einen Zuschuß von Fr. 700,000.— den Vertrag nicht erfüllen zu können, so fand sich die Rhätische Bahn veranlaßt, ihr den Bau abzunehmen und die Vollendung in Regie durchzuführen. Zu diesem Zweck wurde mit der Unternehmung ein gütliches Uebereinkommen getroffen mit folgenden Bedingungen:

1. Die ausgeführten Arbeiten werden nach den Vertragspreisen berechnet und ausbezahlt.
2. Die vorrätigen Baumaterialien werden zu den Anschaffungspreisen übernommen.
3. Das gesamte bewegliche und unbewegliche Inventar samt Wasserkraftanlagen usw. im Anschaffungswert von angeblich Fr. 900,000.— wird zum Preis von Franken 482,000.— angekauft.

Der schnelle Abschluß dieses Uebereinkommens wurde dadurch erleichtert, daß der betagte Chef der Firma, Herr Ronchi den dringenden Wunsch hegte, von der schweren Bürde dieses

Tunnelvertrages loszukommen und Hoffnung hatte, mit dem freiwerdenden Kapital in der Heimat ein lohnenderes Geschäft zu beginnen.

Der Regiebau begann am 1. April 1901 und während seither die Bauleitung der beiden Tunnelseiten den Bahnsektionen in Bergün und Samaden zugeteilt gewesen war, wurde jetzt die gesamte Leitung dieses Tunnel-Regiebaues Herrn Ing. R. Weber von Zürich übertragen, der seinen Sitz am Tunneleingang in Preda hatte und durch eine schon von Ronchi erstellte Telephonleitung mit Spinas verbunden war.

Als am 25. August 1901 die Maschinenbohrung auf der Nordseite im Granit, bei 1260, in Angriff genommen wurde, war man auf der Südseite bis 1485 gelangt und es fehlte daher noch eine Stollenlänge von 3120 m.

Der Stollenfortschritt im Granit der Südseite hatte bisher 120 m im Monat betragen. Nach diesem Maßstab hätte man 13 Monate, also die Zeit bis Ende September 1902, bis zum Durchschlag gebraucht, während im Vertrag mit Ronchi als Termin für den Durchschlag der 15. April 1902 festgesetzt gewesen war. Um die verlorene Zeit möglichst einzuholen, mußte daher der Vorgang beschleunigt werden, namentlich auf der Nordseite, da wegen der Wasserableitung der südliche Vortrieb nicht zu weit auf die Nordseite hinübergreifen durfte, wo ein Gefälle von 10‰ vorhanden ist.

Es wurde daher in erster Linie beschlossen, von beiden Seiten mit drei gleichzeitig arbeitenden Bohrmaschinen vorzugehen und zu diesem Zweck die gesamte Installation in der auf Seite 46 bereits angedeuteten Weise ausgestaltet.

Wird der Richtstollen möglichst beschleunigt, so müssen sich alle Transportverhältnisse nach dem Vortrieb richten, wodurch die Arbeiten des Vollausbruches beeinträchtigt werden. Da aber bei dem vorhandenen Gestein gegen ein Voreilen des Stollens keine Bedenken obwalten konnten, so stellte man sich die Aufgabe, den Durchschlag unter Aufbietung der größten Anstrengungen so schnell als möglich herbeizuführen, um damit alle Ungewißheiten über die Gebirgsverhältnisse und insbesondere die Schwierigkeit der Lüftung auszuschalten. Der hierbei zurückbleibende Vollausbruch konnte dann nach dem Durchschlag mit Hilfe der Bohrmaschinen beschleunigt werden und auch die Mauerungsarbeiten waren unschwer nachzuholen.

Die Arbeiten im Tunnel wurden beim Regiebau nicht in Kleinakkord vergeben, da man den Bau-Vorgang ganz in der Hand behalten wollte, dagegen wurden alle Beteiligten — Arbeiter und Aufseher — durch ein System von Prämien, welche für die Ueberschreitung mittlerer Erfolge ausgesetzt wurden, ins Interesse gezogen, um den Fortschritt nach Möglichkeit zu beschleunigen. Die Höhe der Lohnzuschläge wurde — zunächst für die Beschleunigung des Durchschlages — derart ermittelt, daß darin die gesamte Ersparnis enthalten war, welche die Bahngesellschaft durch früheren Abschluß der Ventilations- und der Werkstättenarbeiten erzielen konnte.

Diese Prämien haben außerordentlich günstige Resultate ergeben.

Der Durchschlag erfolgte am 29. Mai 1902 von Preda aus, nachdem zur Verhütung von Unglücksfällen der Vortrieb der Südseite am 23. Mai eingestellt war. Es wurden also die fehlenden 3120 m Stollen in 278 Kalendertagen vollendet und zwar wurden in dieser Zeit auf der Nordseite 1771 m, auf der Südseite 1349 m durchbrochen.

Der mittlere Fortschritt per Kalendertag betrug also während dieser Periode auf der Nordseite 6,37 m, auf der Südseite 4,85 m. Der Durchschlag lag 3030,5 m vom Nordportal und 2835 m vom Südportal, und erfolgte 130 m nördlich der Scheitelhorizontalen. Der Stollen der Südseite wurde wegen des Wasserablaufes über der Scheitelhorizontalen mit 2‰ Steigung fortgeführt, so daß am Durchschlagspunkt die Sohle des Südstollens ungefähr mit der Decke des Nordstollens zusammenfiel. (Tafel 24.)

Die folgende Tabelle enthält einige Angaben über die Resultate der Maschinenbohrung, und auch auf Tafel 25 finden sich bezügliche Darstellungen, aus welchen der durchschnittliche Monatsaufwand an Dynamit und an Bohrschneiden zu entnehmen ist, sowie das Verhältnis der

mittleren Bohrlochlänge zum Stollenfortschritt. Diese Angaben gewähren ein vorzügliches Kriterium der verschiedenartigen Felsbeschaffenheit.

Einige Resultate der Maschinenbohrung.

Mittlerer Stollenquerschnitt 5,5 m². — Zahl der Bohrlöcher pr. Angriff 9—10. — 3 gleichzeitig arbeitende Bohrmaschinen.

Hydraulische Drehbohrmaschinen von Brandt mit 100 Atm. Druck.

Gegenstand	Nordseite							
	1901			1902				
	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Anzahl der Arbeitstage	31	29	$28^1/_3$	29	28	29	30	28
Erzielte Stollenlänge, Meter	197.6	185	184.4	196.6	188.8	206.5	218.5	192.9
Zahl der Angriffe in 24 Stunden	4.54	4.37	4.62	4.72	4.85	4.86	5.03	4.96
Dauer der Bohrung per Angriff, Stunden, Minuten	2^{21}	2^{25}	1^{39}	2^{05}	2^{18}	2^{14}	2^{21}	2^{24}
„ „ Schutterung „ Stunden, Minuten	2^{07}	2^{17}	2^{42}	2^{18}	1^{56}	1^{58}	1^{41}	1^{44}
Tiefe der Bohrlöcher, Meter	1.49	1.50	1.40	1.51	1.45	1.50	1.51	1.49
Dynamitverbrauch per Meter Stollen in Kilogramm	21.72	23.19	15.27	19.79	22.6	20.55	21.65	22.99
Verbrauchte Bohrkronen per Meter Stollen	45	41	25	42	51	48	55	56
Tagesleistung, Meter	6.37	6.37	6.51	6.78	6.74	7.12	7.28	6.88

Gegenstand	Südseite							
	1901			1902				
	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai
Anzahl der Arbeitstage	31	$27^2/_3$	28	$28^1/_3$	$27^1/_3$	$28^5/_6$	30	23
Erzielte Stollenlänge, Meter	172	140	145.8	143.7	146.2	162.2	173	111.8
Zahl der Angriffe in 24 Stunden	4.3	4.16	3.82	3.71	4.02	4.02	4.10	3.74
Dauer der Bohrung per Angriff, Stunden, Minuten	2^{08}	2^{11}	2^{39}	1^{40}	2^{27}	2^{10}	2^{18}	2^{51}
„ „ Schutterung „ Stunden, Minuten	2^{21}	2^{22}	2^{41}	3^{15}	2^{35}	2^{51}	2^{29}	2^{26}
Tiefe der Bohrlöcher, Meter	1.42	1.37	1.48	1.40	1.42	1.49	1,47	1.46
Dynamitverbrauch per Meter Stollen in Kilogramm	22.05	23.13	19.40	13.22	19.6	15.63	16.99	20.47
Verbrauchte Bohrkronen per Meter Stollen	45	42	33.7	20.9	38	31	36	49
Tagesleistung, Meter	5.55	5.06	5.21	5.07	5.35	5.63	5.77	4.86

Der größte Tagesfortschritt der Maschinenbohrung in hartem Granit hat betragen:

	Nordseite	Südseite
im Monatsdurchschnitt . . .	7,28 m	5,77 m
„ Wochendurchschnitt . . .	7,80 „	5,87 „
an einem einzelnen Tage . .	9,30 „	8,00 „

Auf der Nordseite steigerte sich der tägliche Fortschritt von 6,37 m im Oktober 1901, allmählich bis auf 7,28 m im April 1902, indem insbesondere die mittlere Dauer der Schutterung von 2 Stunden 22 Minuten im Jahre 1901, auf 1 Stunde 41 Minuten im April 1902 herabging, teils infolge der Prämien, teils dadurch, daß mittels sofortiger Verbreiterung des Sohlstollens bis 100 m vor Ort ein Doppelgleis gelegt war, welches den Wagenaustausch sehr beschleunigte.

Die auf der Nordseite erzielten Resultate der Maschinenbohrung sind in hartem Gestein unseres Wissens bisher nicht übertroffen.

Der durchfahrene Granit war im allgemeinen kompakt und stellenweise sehr quarzreich und hart, doch trat häufig eine Zerklüftung auf, mit der gewöhnlich etwas Wasserzutritt verbunden war. Mehrfach hatte die Gebirgspressung eine gneißartige Struktur erzeugt und längere Partien waren so zerquetscht, daß eine verstärkte Mauerung nötig wurde.

Vielfach ergab sich eine aufrecht gestellte schiefrige Textur, welche eine Widerlagerverkleidung erforderte, ohne daß ein Deckengewölbe nötig war, hingegen ergab sich nirgends die Gelegenheit, Deckengewölbe ohne Widerlagermauerung zu erstellen. Eine — seltsamerweise — inmitten des Granits angetroffene, 65 m lange Strecke, welche aus dunkeln Liasschiefern bestand,

brachte glücklicherweise kein Wasser und keinerlei Störung mit sich. (Siehe hierüber die geologische Schilderung von Prof. Tarnuzzer und Tafel 30.)

Zur Zeit des Durchschlages war noch im Rückstand:

	Nordseite	Südseite	Zusammen
1. der Firstschlitz	ca. 825 m	1025 m	1850 m lang
2. die Calottenausweitung	„ 1050 „	1350 „	2400 „ „
3. der Vollausbruch	„ 1200 „	1400 „	2600 „ „

4. die Mauerung war vollendet auf der Nordseite bis auf 1225 m, auf der Südseite bis auf 1800 m vor dem Durchschlagspunkt und man nahm an, daß etwa $^2/_3$ dieser Strecken der Verkleidung bedürfen.

Zur Bewältigung dieser Arbeiten war die Zeit von Ende Mai 1902 bis Ende Februar 1903 vorhanden, denn mit Rücksicht auf den Eröffnungstermin (1. Juli 1903) mußte im März der Schotter eingebracht und anfangs April das Geleise im Tunnel gelegt werden, um das Oberbaumaterial für das Engadin durch den Tunnel führen und die Oberbaulage bis Celerina rechtzeitig vollenden zu können.

Wie aus den Darstellungen auf Tafel 23, 24 und 25 zu ersehen ist, war dem entsprechend die Leistung des Jahres 1902 eine außerordentlich große und es ist in diesem Jahr fast die Hälfte der ganzen Tunnellänge hergestellt worden.

Zunächst ist hinsichtlich des Baubetriebes zu bemerken, daß die anfangs nach üblicher Art eingeführte Herstellung eines selbständigen Firststollens mit seinen geschlossenen vier Wänden im Granit und besonders in dessen quarzreichen Strecken ebenso teuer wurde wie der Sohlstollen, auch machte sich die Schwierigkeit, die begonnenen Firststollen-Aufbrüche genügend zu lüften, sehr störend fühlbar, zumal das harte Gestein sehr viel Sprengmaterial erforderte.

Man ging daher zur Methode des Firstschlitzes über und begann damit im November 1901 auf der Nordseite bei 1320, indem mit Hilfe leichter Gerüste durch eine zweimalige Erhöhung des Sohlstollens ein Schlitz bis zur Tunneldecke hergestellt wurde. Hierdurch hat sich die Arbeit wesentlich billiger und einfacher gestaltet, so daß dadurch — wie später gezeigt wird — eine sehr namhafte Ersparnis herbeigeführt wurde. Im April 1902 wurde diese Methode dann auch auf der Südseite eingeführt. Der Vorgang ist aus Tafel 28 und 29 ersichtlich.

Er wurde vom Tunnelbauleiter, Herrn Weber, eingeführt und begegnete anfangs dem Widerstand der Aufseher und Arbeiter, welche nur ungern die gewohnte Methode verließen.

Als nach dem Durchschlag des Sohlstollens die Bohrmaschinen frei wurden, wurden auf jeder Seite zwei derselben zunächst zur Herstellung des Firstschlitzes verwendet, indem sie — mit den Bohrkronen gegen das Portal gerichtet — zuerst vom Geleise aus, schräg unter 45° gerichtete Bohrlöcher von 1,7 m Länge in der Decke des Sohlstollens herstellten, worauf später für die zweite Erhöhung des Stollens von einem fliegenden ca. 2 m hohen Gerüst aus, unter dem die Rollwagen durchfahren konnten, von jedem Stand drei Bohrlöcher hergestellt wurden bis zu einer Höhe, die 0,5 m unter dem Normalprofil lag. Die Bohrmaschinen arbeiteten stetig fort, indem sie jedesmal um 1,5 m gegen die Tunnelmitte weiterrückten und es wurden immer die gebohrten Löcher erst dann abgeschossen, wenn die Bohrmaschinen weit genug entfernt waren, um durch das Abschießen nicht mehr gestört zu werden. Solange der Firstschlitz von Hand hergestellt wurde, hatte eine solche Stollenerhöhung einen Monatsfortschritt von 300 m; mit Maschinenbohrung betrug der Fortschritt 500 m monatlich. Vierzehn Tage nach vollendeter Bohrung war auch das Abschießen und Schuttern beendet.

Nach Vollendung des Firstschlitzes wurden noch Bohrlöcher links und rechts des Sohlstollens mit der Maschine hergestellt, welche jedoch natürlich erst nach der Calottenausweitung abgeschossen wurden und es wurde dann endlich am 3. Oktober 1902 die gesamte Maschinenbohrung eingestellt.

$1^1/_2$ Monate nach der Herstellung des Firstschlitzes wurde jeweilen der Vollausbruch vollendet.

Im Januar 1903 wurden die letzten Mineurarbeiten in der Nähe der Durchschlagstelle vollbracht.

In der Granitstrecke ergab sich vielfach die Möglichkeit, die Verkleidung wegzulassen, doch wurde auch hier überall der Raum für eine später etwa nötige Verkleidung ausgebrochen.

Die Ausmauerung wurde überall vorgenommen, wo mürber Fels war und wo sich Wasser zeigte und zwar in sonst gesundem Fels nach Type Ia, in den — ziemlich langen — Strecken jedoch, wo der Granit an den Kluftflächen durch den Gebirgsdruck zermahlen war und an den nassen Stellen in Brei überging, wurde die Mauerungstype III angewendet, während Type II, wie schon erwähnt, nicht zur Anwendung kam. (Tafel 23).

Da die Notwendigkeit der Mauerung sich oft erst nachträglich ergab, wenn das ganze Profil abgeputzt war, so war eine ganz systematische Folge der Mauerungsarbeiten nicht tunlich und mußte manchmal auf zurückliegende Strecken zurückgegriffen werden.

Es war jedoch Ende Februar jede Mauerungsarbeit vollendet, da es keine Schwierigkeit hatte, in den letzten beiden Monaten je zirka 400 m auszumauern.

Die im Granit ausgeführten Typen ergeben sich aus folgender Zusammenstellung:

Herstellung nach Type				
I	Ia		III	Zusammen
	ohne Gewölbe	mit Gewölbe		
1727 m	672 m [1])	940 m	1007 m	4346 m

[1]) Einseitige Widerlagerlängen sind halb berechnet.

Ganz unverkleidet sind also hergestellt in der Granitstrecke zirka 40 %.

In der gemauerten Strecke sind ausgeführt:

Ohne Gewölbe		. . . .	25.6 %
Mit	„	0,3 bis 0,4 m stark . .	36.0 %
„	„	0,45 m stark	38.4 %

3. Uebersicht der Herstellungen.

Im ganzen Tunnel stellt sich die Mauerung folgendermaßen:

Strecke	Type						
	I	Ia		III	IV	V	zusammen
		ohne Gewölbe	mit Gewölbe				
1. Bis zum Granit . .	37.5	—	—	1086	92	43	1258.5
2. Im Granit	1727	672	940	1007	—	—	4346.0
3. Nach dem Granit .	—	—	—	37	—	223	260.0
Zusammen	1764.5	672	940	2130	92	266	5864,5

Demnach sind im ganzen Tunnel hergestellt:

Ganz ohne Verkleidung . . . . . . ca. 30 %

In der gemauerten Strecke sind ausgeführt:

Ohne Gewölbe		. . . .	16.3 %
Mit	„	0,3 m stark	23.0 %
„	„	0,45 m stark	52.0 %
„	„	0,55 bis 0,75 m stark . .	8.7 %

Gegen Ende der Bauperiode betrug der Wasserabfluß am Tunnelportal auf der Nordseite 244, auf der Südseite 75 Sekundenliter, wovon bei weitem der größte Teil auf die Eingangsstrecken entfällt.

In der Granitstrecke genügen für die Wasserableitung 0,4 m weite, oben durchlöcherte Zementröhren, welche in Preda hergestellt wurden; daran schließt sich auf der Nordseite eine betonierte Dohle von 0,7 m Weite und Höhe, deren 15 cm starke Betondeckel — ebenfalls in Preda angefertigt — mit der Oberkante in Schwellenhöhe liegen. (Tafel 23).

Diese Dohle kann bei einem Wasserspiegel, der 0,4 m unter Schwellenhöhe liegt, auch in der Strecke des 5‰ Gefälles am Nordeingang, mindestens 350 Sekundenliter abführen.

Auf der Südseite sind außerhalb der Granitstrecke zu beiden Seiten des Geleises gemauerte Dohlen von 0,3 m Weite und Höhe ausgeführt, deren Sohle 0,7 m unter Schwellenhöhe liegt.

Was den Betrieb durch den Albulatunnel anbetrifft, so hat sich gezeigt, daß trotz der starken Steigung, des engen schmalspurigen Profils und des Bestehens längerer ungemauerter Strecken, welche die Luftbewegung erschweren, die natürliche Lüftung so wirksam ist, daß ohne Beschwerden im Tunnel gearbeitet werden kann und künstliche Ventilationseinrichtungen entbehrlich sind.

Die gemauerten sowohl als die ungemauerten Strecken des Albulatunnels (ebenso wie die aller übrigen Tunnel) haben sich bisher tadellos gehalten.

---

4. Arbeiterzahl und Krankenpflege.

a) Zahl der Arbeiter (Nord- und Südseite).

Jahr	1899			1900			1901			1902			1903		
Monat	Im Tunnel	Im Freien	Zusammen	Im Tunnel	Im Freien	Zusammen	Im Tunnel	Im Freien	Zusammen	Im Tunnel	Im Freien	Zusammen	Im Tunnel	Im Freien	Zusammen
Januar	36	12	48	264	27	291	368	103	471	726	253	979	637	172	809
Februar	36	12	48	272	25	297	432	124	556	810	270	1080	438	186	624
März	36	12	48	319	40	359	472	126	598	818	269	1087	157	163	320
April	36	12	48	368	65	433	520	156	676	895	345	1240	35	101	136
Mai	110	150	260	440	145	585	523	231	754	878	336	1214	42	134	176
Juni	171	209	380	430	174	604	545	187	732	876	323	1199	31	230	261
Juli	270	213	483	486	184	670	522	199	721	984	332	1316			
August	294	236	530	395	163	558	565	240	805	860	330	1190			
September	350	280	630	385	125	510	573	265	838	805	312	1117			
Oktober	284	167	451	366	114	480	643	256	899	737	291	1028			
November	279	77	356	280	159	439	544	201	745	717	248	965			
Dezember	227	26	253	302	145	447	529	266	795	731	203	934			

Bemerkung:

15. Februar 1899: Die Unternehmung Ronchi & Carlotti übernimmt den Tunnelbau.
1. April 1901: Beginn des Regiebaues.
29. Mai 1902: Durchschlag des Richtstollens.
1. Juli 1903: Betriebseröffnung.

Alle Arbeiter im Tunnel hatten 8stündige Schichten.

b) Krankenpflege.

Bis zum 1. April 1901, mit welchem Tage der Bau des Albulatunnels in Regie überging, war die bezügliche Arbeiterbehandlung des Tunnelbaus ebenso wie in der übrigen Strecke eingerichtet. Mit diesem Tage ging die Verwaltung der Krankenkasse an die Rhätische Bahn über.

Die Einnahmen und Ausgaben dieser Krankenkasse betrugen während des Regiebaues 86,000 Fr., indem ein schließlicher Ueberschuß von ca. 8000 Fr. Bedürftigen zugewiesen wurde.

Im ganzen war der Gesundheitszustand der Arbeiter bei diesem Tunnelbau ein günstiger.

c) Unfallkasse.

Da es nicht gelang, für den Regiebau mit den Versicherungsgesellschaften einen geeigneten Vertrag abzuschließen, weil dieselben 9—10 % der Löhne als Prämie forderten und trotzdem die Versicherung nur in sehr beschränktem Maße übernehmen wollten, sah sich die Rhätische Bahn veranlaßt, eine Selbstversicherung für die Tunnelarbeiter ins Leben zu rufen.

Mit Hilfe dieser eigenen Unfallkasse sind dann nicht nur alle Entschädigungen für die verletzten Arbeiter stets in sehr rascher und entgegenkommender Weise erledigt worden, sondern es ist auch gelungen, die Gesamtkosten der gesamten Unfallpflege einschließlich aller Entschädigungen mit einem Aufwand von 8½ % der Löhne zu bestreiten.

Die Unfallkasse wurde auf Grund eines vom eidgen. Fabrikinspektorat genehmigten Statuts eingerichtet. Die Arbeiter zahlten 3 %, die Rhätische Bahn 4 % der Löhne und die Rhätische Bahn hatte überdies für ein allfälliges Defizit zu haften, wofür eine Kaution von Fr. 100,000.— zu hinterlegen war.

Die Verwaltung der Regieversicherung (an der auch die Vollendung des Rugnuxtunnels und die Bergüner Rutschung teilnahmen) lag in den Händen des Bauleitungspersonals. In Preda war ein besonderes Hospital mit einem von der Bahn bestellten Arzt eingerichtet, dem ein Krankenwärter und mehrere Krankenschwestern beigegeben waren, während am Tunnelausgang das Kreisspital in Samaden die Pflege übernahm.

Die Betriebsrechnung der Regie-Unfallversicherung ergab folgende Resultate:

Einnahmen:		
Beiträge der Arbeiter (3 %)	Fr.	106,700.—
Beiträge der Rhätischen Bahn (4 %)	„	142,300.—
Defizit (ca. 1½ %)	„	53,000.—
Zusammen	Fr.	302,000.—
Ausgaben:		
Inventar usw.	Fr.	2,200.—
Aerzte, Apotheker usw.	„	56,900.—
Entschädigungen für vorübergehende Erwerbsunfähigkeit	„	112,000.—
Entschädigungen für bleibende Nachteile (Invalidität und Tod)	„	115,200.—
Heimreisegelder, Beerdigung usw.	„	15,700.—
Zusammen	Fr.	302,000.—

Die Zahl der verletzten Arbeiter belief sich

1901	auf	507
1902	„	1324
1903	„	297
zusammen		2128 Fälle,

wobei diejenigen Fälle nicht einbezogen sind, welche keine Arbeitsunfähigkeit zur Folge hatten.

Die Zahl der Fälle mit bleibendem Nachteil war 177
" " " " tötlichem Ausgang " 16

5 Arbeiter fanden ihren Tod durch Explosionen, 6 durch zusammenstoßende Rollwagen und 5 durch herabfallende Steine.

Unter den schweren Verletzungen fanden 75 durch Quetschungen statt, die größte Zahl — 82 — weisen aber auffallenderweise die Augenverletzungen auf.

---

5. Die Kosten.

a) Allgemeines.

Der ganze Tunnel (5864,5 m lang) kostet Fr. 7,228,000.—, wovon Fr. 45,000.— auf Portale, Nischen und Kammern entfallen, so daß für den eigentlichen Tunnelbau 7,183,000.— Franken übrig bleiben.

Es handelt sich zunächst darum, die Kosten der Strecke, welche von der Unternehmung hergestellt ist, zu trennen von derjenigen, welche in Regie ausgeführt wurde.

Da die Arbeiten der Unternehmung zur Zeit der Uebernahme des Regiebaus nirgends vollendet waren, muß für die Ausscheidung der beiden Strecken eine Annahme gemacht werden.

Es erschien praktisch, die Regiestrecke zu begrenzen vom Beginn der Casannastrecke bei 1210 der Nordseite bis zum fertigen Tunnelring, welcher auf der Südseite 272 m vor dem Ausgangs-Portal endet.

Hieraus ergibt sich eine Länge der Unternehmerstrecke von 1482 m, der Regiestrecke von 4382,5 m.

Der an die Unternehmung für die ausgeführten Tunnelteile nach den Vertragspreisen ausgezahlte Betrag belief sich auf Fr. 1,807,000.—. Hievon entfallen Fr. 17,000.— auf Portale und Nischen, so daß für den eigentlichen Tunnel Fr. 1,790,000.— bleiben.

Um die Gesamtkostensumme dieser Strecke zu erhalten, müssen aber einerseits die Kosten hinzu gerechnet werden, welche zur Vollendung dieses Tunnelteiles (Herstellung der Druckstrecke im Zellendolomit, sowie der ganzen Sohle und der Wasserkanäle) in Regie ausgegeben wurden, andererseits kommt in Abzug der erhebliche Granitausbruch, welchen die Unternehmung bereits in der Regiestrecke geleistet hatte (s. Uebersicht auf Tafel 23).

Da die oben erwähnten Vollendungsarbeiten Fr. 369,000.— gekostet haben, während andererseits der Granitausbruch der Unternehmung in der Regiestrecke mit Fr. 314,000.— zu bewerten ist, so stellen sich die Kosten

1. der Unternehmerstrecke, 1482 m lang, auf Fr. 1,845,000.—
   oder für den Laufmeter auf Fr. 1,245.—.
2. der Regiestrecke, . . . 4382,5 m lang, auf Fr. 5,338,000.—
   oder für den Laufmeter auf Fr. 1,218.—.

Die obige Unternehmerstrecke liegt auf der Nordseite im Kalkschiefer und in der Rauhwacke, auf der Südseite in wasserhaltigem Sand und Moräne. Die Regiestrecke liegt im Casannaschiefer und Granit. Der Casannaschiefer kann für den Tunnelbau dem Granit gleich gerechnet werden.

b) Die Unternehmerstrecke (1482 m lang).

Die Leistung der Unternehmung wurde, wie bereits erwähnt, nach den Vertragspreisen berechnet, welche die Unternehmung anerboten hatte. Die Unternehmungspreise betrugen bei Ausführung der Mauerung in Bruchstein und hydraulischem Kalk

für Type	I	Fr.	685.—
„	Ia	„	835.—
„	III	„	985.—
„	IV	„	1075.—
„	V	„	1335.—

und es beruhte bei allen Profilen die Bewertung des Ausbruches auf dem Preis von Fr. 25.— per m^3, welcher sich als unzureichend erwies.

Zu den auf Grund dieser Preise berechneten Beträgen kamen jedoch vertragliche Zuschläge, weil fast überall wegen des Wasserzudranges Zementmörtel und auf der Südseite vielfach Hausteinmauerwerk verwendet war, indem die formlosen Granite sich zum Bruchsteingewölbe nicht eigneten. Ueberdies wurden auf der Nordseite an vielen Orten besonders vergütete Blechtafeln über den Gewölben eingelegt, durch welche das Auswaschen des Mörtels während der Mauerung verhindert wurde.

Um die wirklichen Ausführungskosten der Unternehmungsstrecke zu erhalten, müßte zu dem Betrag von Fr. 1,845,000.— eigentlich noch der Verlust hinzugerechnet werden, welchen die Unternehmung bei diesen Arbeiten erlitten hat.

Da indessen der Betrag dieses Verlustes unbekannt ist, so wollen wir darauf nicht näher eintreten und begnügen uns, diesbezüglich zwei Punkte zu erwähnen.

Eine unbestreitbare und unausweichliche Mehrausgabe entstand auf der Nordseite bei dem gewaltigen Zudrange kalten Wassers durch die Verminderung der Arbeiterleistung. Dieselbe wurde seinerzeit zuzüglich der Kosten des Stollenvortriebes in dem aufgelösten Zellendolomit durch die Bauleitung auf Grund ihrer Beobachtungen zu mindestens Fr. 300,000.— berechnet.

Ein zweiter unvorhergesehener Aufwand — im Betrag von angeblich Fr. 100,000.— fand bei der Rekonstruktion der beiden eingestürzten und beim Auffirsten der vorhergehenden Ringe auf der Südseite (Km. 91 5/6) statt.

Es muß aber gesagt werden, daß dieser Aufwand zu vermeiden gewesen wäre, hätte die Unternehmung von Anfang an in dieser Druckstrecke einen zweckmäßigeren Vorgang angewendet, ähnlich demjenigen, welchen die Rhätische Bahn bei der Wiederherstellung der eingebrochenen Ringe einführte (Tafel 27). Indem derselbe jegliches Unterfangen vermeidet, hat er unter den erschwerenden Verhältnissen des Einbruchs glatt zum Ziel geführt, während bei dem Firststollenbetrieb der Unternehmung anläßlich des Unterfangens so starke Setzungen und Verschiebungen eintraten, daß schließlich einmal die ganze Decke zusammenbrach, nachdem schon bei den vorhergehenden Ringen große Schwierigkeiten aufgetreten waren, wo der Raum für das Gewölbe durch Auffirsten gewonnen werden mußte.

c) Die Regiestrecke, 4382,5 m lang.

Da die Kosten der Regiestrecke genau bekannt sind, soll näher darauf eingegangen werden.

1. Installationen und Inventar.

Für die Regiestrecke kommen folgende Anschaffungswerte in Betracht:

1. Gebäude	Fr.	218,000.—
2. Installationen für Maschinenbohrung	„	228,000.—
3. „ „ Ventilation . . .	„	123,000.—
4. Inventar der Werkstätten	„	47,000.—
5. Lokomotiven und Rollwagen . . .	„	150,000.—
6. Schienen	„	58,000.—
7. Verschiedenes	„	26,000.—
Zusammen	Fr.	850,000.—

Bei dem Verkauf des Inventars wurde ein Erlös von Fr. 320,000.— erzielt.
Es bleiben also zu amortisieren Fr. 530,000.— oder per lfd. Meter

Fr. 121.—

2. Die Kosten des Richtstollens
(ohne Einrechnung der Kosten der allgemeinen Verwaltung und der Installationen).

Die Kosten betrugen einschließlich des Materialtransportes bis zur Lokomotivstation im Tunnel in 24 Stunden:

I. Im Tunnel:				
1. Arbeiterschichten	63 à	Fr. 4.60	Fr.	290.—
2. Prämien	63 à	„ 2.15	„	135.—
3. Dynamit	120 kg à	„ 2.50	„	300.—
4. Zünder und Kapseln			„	24.—
5. Bohrstahl und Gestänge	60 kg à	„ 2.20	„	132.—
6. Uebriges Verbrauchsmaterial			„	60.—
7. Hilfsmineure zum Regulieren	$3^1/_2$ à	„ 4.30	„	15.—
8. Schlepper	9 à	„ 3.50	„	32.—
9. Pferde	2 à	„ 7.50	„	15.—
II. In der Werkstatt:				
10. Arbeiter	25 à	„ 5.20	„	130.—
11. Ersatzstücke der Maschinen			„	33.—
12. Holzkohle			„	42.—
13. Uebriges Verbrauchsmaterial			„	46.—
		Summe	Fr.	1254.—

Bei einem mittleren Tagesfortschritt von 6 m ergibt dies

Fr. 209.— per lfd. Meter Stollen,

und bei einem verglichenen Stollenquerschnitt von 5,5 m²

Fr. 38.— per m³ Ausbruch.

Die Prämien wurden im Richtstollenbetrieb folgendermaßen berechnet:

Für einen Tagesfortschritt von	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0 m
Obermineure	1.70	2.35	2.90	3.45	4.10	4.65	5.20 Fr.
Mineure	1.20	1.85	2.40	2.95	3.50	4.05	4.60 „
Schutterer	0.95	1.60	2.15	2.70	3.25	3.80	4.35 „
Handlanger	0.45	0.80	1.05	1.30	1.55	1.80	2.05 „

Im Mittel stellten sich die Prämien per lfd. Meter Stollen auf Fr. 22.50.

3. Die Kosten des Tunnelausbruchs ohne den Richtstollen für Profil I.

Der normale Ausbruch der Granittype beträgt

26,8 m²

Der wirkliche Ausbruch hat im Mittel betragen

29,0 m²

war also 8,2 % größer.

Ohne Sohlstollen mißt also der restliche wirkliche Ausbruch 23,5 m².

Auch beim Ausbruch dieses Tunnelteiles wurden Prämien verabfolgt, welche auf der Nordseite Fr. 30,200.— auf der Südseite Fr. 5600.— betrugen.

Die Kosten dieses Querschnittes (Löhne, Prämien und Sprengmaterial, samt Transport zur Lokomotivstation im Tunnel) haben sich für die verschiedenen Ausführungsarten folgendermaßen ergeben:

Es kostete 1 m³ Ausbruch:

1.	im geschlossenen Firststollen . . .	(5 m²)	Fr. 36.—
2.	im Firstschlitz mit Handbohrung .	(9 m²)	„ 16.—
3.	„ „ maschinell	(9 m²)	„ 12.—
4.	am Umfang 14 m lang, 0,5 m stark .	(7 m²)	„ 26.—
5.	restlicher Ausbruch mit Handbohrung	(7,5 m²)	„ 15.—
6.	„ „ maschinell . . .	(7,5 m²)	„ 11.—
	Demgemäß kostet der Laufmeter Ausbruch:		
7.	bei Firststollenbetrieb	(23,5 m²)	„ 538.—
8.	bei Firstschlitz von Hand	(23,5 m²)	„ 438.—
9.	„ „ maschinell	(23,5 m²)	„ 372.—
	Im ganzen sind hergestellt: 1446,5 m mit Firststollen, 1336 m mit Firstschlitz und Handbohrung, 1600 m mit Firstschlitz und Maschinenbohrung, woraus sich ergibt:		
10.	im Mittel der Herstellungsarten . .	(23,5 m²)	„ 447.—

Der niedrige Preis der Maschinenbohrung (3 und 6) beruht darauf, daß dieselbe ohne die Unterbrechung des Abschießens und ohne neue Anschaffungen durchgeführt werden konnte.

Im Preis 4 ist die sorgfältige Aussprengung des Umfangs mittels kleiner Schüsse und die Zuführung der unverkleideten Strecken enthalten. Es ergibt sich daraus ein Zuschlag von Fr. 5.— für den m² Leibungsfläche.

8 und 9 zeigen im Vergleich zu 7 die große Ueberlegenheit des Firstschlitzes gegenüber dem Firststollen.

4. Die Gesamtkosten der Regiestrecke.

Die durchschnittlichen Gesamtkosten der Granittype I setzen sich nun folgendermaßen zusammen:

Gegenstand	Löhne	Material	Zusammen
Sohlstollen	Fr. 106.—	103.—	209.—
Uebriger Ausbruch . .	„ 377.—	70.—	447.—
Sohle und Kanal . .	„ 14.—	11.—	25.—
Holzeinbau	„ 38.—	21.—	59.—
Lokomotivtransport .	„ 20.40	12.10	32.50
Kippe	„ 26.40	1.—	27.40
Ventilation	„ 7.50	4.30	11.80
Gleis	„ 6.50	1.50	8.—
Schmiede	„ 13.60	2.70	16.30
Zimmerleute	„ 6.—	8.—	14.—
Wasserdichte Kleider .	„ —	11.30	11.30
Werkzeugersatz	„ —	3.50	3.50
Verschiedenes	„ 15.60	3.60	19.20
Zusammen	Fr. 631.—	253.—	884.—
Unfallversicherung, Beitrag der Rh. B. (5½ % der Löhne)			35.—
Amortisation von Installationen und Inventar (wie oben)			121.—
Allgemeine Verwaltung (zirka 5 % der Kosten)			50.—
Summe für Type I (26,8 m²)			Fr. 1090.—

oder per m³ Fr. 40.—.

Daraus ergeben sich die Kosten der gemauerten Strecken (mit 3,9 m^3, 5,24 m^3 und 8,04 m^3 Mauerung) wie folgt:

Type Ia ohne Gewölbe		Fr. 1200.—
„ Ia mit	„	„ 1255.—
„ III		„ 1380.—

und es kostet die ganze Regiestrecke

1764,5 m	à Fr. 1090.—	=	Fr.	1,923,305.—
672,0 „	„ „ 1200.—	=	„	806,400.—
940,0 „	„ „ 1255.—	=	„	1,179,700.—
1006,0 „	„ „ 1380.—	=	„	1,388,280.—
	Verschiedenes	=	„	40,315.—
4382,5 m	Total		Fr.	5,338,000.—

oder Fr. 1218.— per Laufmeter.

Dabei kostet 1 m^3 Mauerwerk bei Type I im Widerlager 28, im Gewölbe 38 Franken; bei Type III 30, resp. 40 Franken, wozu noch 15 Franken für Mehrausbruch kommen.

d) Die Gesamtkosten des ganzen Tunnels.

Die Gesamtkosten des 5864,5 m langen Tunnels sind mit Fr. 7,228,000.— gebucht. Bringt man hievon die Kosten der Nischen, Kammern und Portale mit Fr. 45,000.— in Abzug, so verbleiben für den eigentlichen Tunnelbau

Fr. 7,183,000.—

oder **Fr. 1225.— per m.**

Zur Beleuchtung dieses Ergebnisses mag beispielsweise folgendes angeführt werden:

Rziha veranschlagt einen 6 km langen Tunnel, mit Maschinenbohrung im Richtstollen, zweispurig, zu Fr. 2500.—, einspurig zu Fr. 1600—1750. Die Kosten des Albulatunnels im Vergleich zu einem einspurigen Normaltunnel betragen — unter Berücksichtigung, daß die Stollen- und Umfangsarbeiten gleich bleiben — mindestens 85 %.[1]) Danach würde sich ein Preis von mindestens Fr. 1360.— ergeben.

Beim Simplontunnel-Vertrag war für die Abschlagszahlungen der Preis für den Laufmeter Tunnel im ersten Kilometer auf Fr. 1520.— (ausschließlich der Installationen) festgesetzt, was für unsern Schmalspurtunnel Fr. 1292.— ohne Installationen ergeben würde.

Im November 1891 hat Herr Ing. Stockalper — s. Z. Bauleiter der Unternehmung des Gotthardtunnels — ein Gutachten über die voraussichtlichen Kosten eines Albulatunnels von 5560 m Länge abgegeben. Derselbe gelangt auf Grund einer ausführlichen Preisanalyse zu einem Betrag von

Fr. 1130.— per m im Kalk
„ 1296.— „ „ Granit

für ein Profil, das unserem Profil Ia sehr ähnlich ist und gibt den Rat, im Voranschlag durchschnittlich Fr. 1300.— per m in Rechnung zu stellen und überdies für Unvorhergesehenes Fr. 500,000 auszusetzen.

Die Herstellungskosten des Albulatunnels bleiben also trotz der besonderen Schwierigkeiten und der dadurch hervorgerufenen spätern Arbeitsbeschleunigung durchaus in normalen Grenzen.

[1]) Lichtprofil des Albulatunnels gleich 19,9 m^2, des Simplontunnels gleich 23,2 m^2, des Rickentunnels gleich 25,5 m^2. Das Albulaprofil mißt also 85 % des Simplon-, 78 % des Rickentunnels.

Die Einführung des Firstschlitz-Verfahrens hat eine sehr bedeutende Ersparnis herbeigeführt und es hat die Rekonstruktion auf der Südseite des Albulatunnels (Tafel 27) gezeigt, daß dasselbe auch in drückendem Gebirge mit vorzüglichem Erfolg anzuwenden ist. Da dies Verfahren das einzige ist, welches einen rationellen Ausbau ohne Unterfangen ermöglicht, so ist wohl zu erwarten, daß die vielfach bestehende Abneigung gegen die Anwendung des schon von Rziha dringend empfohlenen Firstschlitzes allmählich verschwinden wird, nachdem ja der Firststollenvorgang bei starkem Gebirgsdruck so oft zu Mißerfolgen geführt hat.

Die Anwendung der Maschinenbohrung in Firstschlitz und Stroße nach erfolgtem Durchschlag des Richtstollens wird bei hartem Gestein stets von großem Vorteil sein. Ob solche Maschinenbohrung auch schon vor dem Durchschlag mit Nutzen arbeiten wird, kann nur von Fall zu Fall entschieden werden.

Im Albulatunnel hätte sie sich nicht gelohnt.

6. Geologische Verhältnisse.

Von Prof. Dr. Tarnuzzer, Chur.

Das durch den Tunnelbau erschlossene geologische Längenprofil (Tafel 27) weist, von W nach O fortschreitend, folgende Gesteinskomplexe auf: (zum Vergleiche sind die durch Herrn Prof. Heim voraus bestimmten Werte angegeben, die aber für ein anderes, früheres Tracé berechnet worden waren)

1. Kalkschiefer und -Mergel	=	1097	Meter	(1100)
2. Zellendolomit	=	111	„	(70)
3. Casannaschiefer	=	52	„	(50)
4. Albulagranit	=	4346	„	(4400)
5. Grundmoräne	=	92	„	(—)
6. Granitschutt	=	168	„	(240)
Tunnellänge		5866	Meter	(5860)

Die Kalkschiefer und -Mergel der Nordseite — wahrscheinlich dem Lias zugehörig, da neuestens zwischen Preda und Crapalv Belemnitenreste gefunden wurden — zeigten sich in Konsistenz und Zusammenhang außerordentlich wechselnd; im ganzen war es dunkles, weiches und dünnschiefriges, auch mit reineren Kalksteinen wechselndes Material, das durch Druckschieferung (Cleavage) häufig in griffelförmige Stücke zerfiel. In den weichsten Partien der Schieferserie mußte gepickelt werden. Streichen der Schichten an der Pischotta hinter Preda und in der ersten Tunnelstrecke, W-O, Fallen 15—20° S. Das Fallen wechselte lokal häufig und verwandelte sich gegen die Ostgrenze hin, wo kompaktere helle Kalkschiefer und Kalksteine auftraten, in nahezu N. Der größte Tagesfortschritt in der Schieferserie war 3,6 m. Von Mineralien zeigten sich nur Kalkspath, Quarz (beide in Adern, Lagen, Nestern und Linsen), viel Schwefelkies und Ueberzüge oder Häute von Graphit. Die im Tunnel erscheinenden Quellen waren oft stark gipshaltig (bis zu einem Gramm auf einen Liter). Der Wasserzudrang begann bei ca. 600 m vom N-Portal Preda an gerechnet, stärker zu werden; bei 112 m = 1,5 Sekundenliter, in 964 m = 66, dann 74 und 86 Sekundenliter (10. und 12. April 1900); in der wasserführenden Schicht bei 1005 m stieg das Quantum plötzlich so, daß am 12. April über 300, am 13. April 300 Sekundenliter am Tunnelportale gemessen wurden. Der Abfluß ging am 14. April auf 206, am 15. April auf 150 Sekundenliter zurück. Man hat beobachtet, daß eine starke Quelle mit Brunnen auf der rechten Seite der Albulastraße hinter und über dem Tunneleingang von Preda versiegte, ebenso standen vor dem Anschnitt der am stärksten wasserführenden Schichte in 1005 m erst in der Mulde, dann am Terrainrücken von Palpuogna mehrere Quellen

ab. Die gewaltige Wassermasse vom 12. April 1900 kam offenbar aus den Schichten des zwischen den Mulden von Preda da daints und Palpuogna-Crapalv gelegenen Terrainrückens, aus einer Gegend, wo dieser Rücken in die letztgenannte Mulde übergeht. Ihr Erscheinen kann wohl nicht in Beziehung stehen zum Becken des Palpuognasees, da der Stollen — in jener Gegend etwa 200 m vom See entfernt in der Tiefe hinführend — damals schon über das Seebecken und den Einfluß der Albula hinein verlängert worden war. Zwar wird behauptet, der Spiegel des Palpuognasees habe seither abgenommen, doch sind Messungen hierüber, sowie über das frühere und jetzige Verhältnis der einfließenden und den See verlassenden Wassermenge der Albula nicht angestellt worden. Die Temperatur der stärksten Quelle in der Schieferpartie war nur 6° C.

Die Untere Rauhwacke (Zellendolomit) erwies sich bedeutend mächtiger als man erwartet hatte und brachte die größten Schwierigkeiten. Das gelbe, poröse bis löcherige, teilweise auch kompakte und sehr stark zerklüftete Gestein, das Kalkspathadern und -Linsen und häufige Lagen und Einschwemmungen von Lehm enthielt, wurde beim weitern Vordringen immer weicher und ging bei starkem Wasserzudrange in eine breiige Masse über. Die tuffartigen Partien des Zellendolomits enthielten Trümmer von grünem Granit. Die Wassermenge stieg in der Zellendolomitpartie stetig von 200 Sekundenliter auf 230 Liter (in 1197 m), im Maximum auf 290 Sekundenliter, am Portale gemessen. Sie ging dann bei 1200 m wieder auf 210 Sekundenliter zurück. Von allen Seiten drang das Wasser ein und es gab gewaltige Sandspülungen (eine derselben entstieg einer großen Spalte des Zellendolomits und trat stoßweise auf); die Materialien der letztern bestanden aus Albulagranit, grünem und weißem Quarz, Triaskalk und -Dolomit, Fragmenten der Schiefersteine, Zellendolomit, Lehmknollen, Tonschlamm, Kristallen und Körnern von Schwefelkies, Roteisenerz etc. in Geröllen, Fragmenten und Sanden bis zum feinsten Korn. Gips, den man gelegentlich in der Rauhwacke erwarten zu müssen glaubte, fand sich in den mir zugegangenen Proben mit Ausnahme bloß mineralischer Ausbildung nicht vor.

In 1207,6 m wurde der Casannaschiefer angeschnitten, bestehend aus schwarzem kalkigem Tonschiefer mit vielen Einsprenglingen von Schwefelkies und gequetschtem Quarz (in dieser Ausbildung war das Gestein innerlich stark zertrümmert und verruschelt), aus graugrünen, kristallinischen, tonhaltigen Schichten, stark geschiefert, auch gneißartig, mit Schwefelkies und gequetschtem Feldspath und Quarz (so in 1200 m). Während der Arbeit im Casannaschiefer maß man am Tunnelportal 210 und 240 Sekundenliter Wasser; von 1220 m hörte der Wasserzufluß hier auf.

Am 25. August 1901 erreichte man von Norden her in 1260 m den Albulagranit, der über dreiviertel des Längenprofils ausmacht. Zu Beginn zeigte er sich von gneißgranitischer und selbst gneißartiger Beschaffenheit, was sich aus der Pressung, die das Massiv durch den Gebirgsdruck erlitten, erklärt. Der Albulagranit, gegen das Albulapaßtal steil N fallend, ist ein prachtvolles grünes Gestein, das aus glasigem Quarz, hellem Orthoklas-Feldspath, braunem Magnesiaglimmer und etwas Hornblende besteht und sehr hart, massig, kompakt und fest ist. Er ist vielfach epidotisiert und enthält viele Quarzitlagen von heller, grüner und kirschroter Farbe, oft bis zu einem Meter Mächtigkeit und darüber. Er wechselt außerordentlich häufig nach Korn und Farbe und viele seiner Varietäten durchschwärmen als 0,1—0,2 bis mehrere Meter mächtige Gänge das Hauptgestein, aplitische und porphyrische von großer Zahl und Mannigfaltigkeit. Das Gestein verhält sich gegen die Bohr- und Sprengarbeit äußerst günstig; als grobkörniger normaler Granit sowohl als in den stark gepreßten, gneißartigen Partien mit förmlich schieferiger Ausbildung und wellenförmiger Struktur zwischen den Klüften und endlich in den harten porphyrischen Partien, die im Tunnel sehr häufig kleingeklüftet und durch den Gebirgsdruck bearbeitet erschienen. Denn auch die vielen Porphyrabänderungen im Granit erschienen meist gedrückt und gequetscht; die ursprüngliche Lage der Gänge und Stöcke wurde verwischt; häufig erschienen Partien an den Kluftflächen durch den Gebirgsdruck ganz zermahlen und bei Zutritt von Feuchtigkeit und Wasser in einen förmlichen graugrünen Brei verwandelt. Die Granit-

substanz ist innerhalb ganzer Zonen gepreßt und verändert worden, während hart daneben der Albulagranit in typischer Ausbildung vorhanden sein kann. Der größte Tagesfortschritt im Richtstollen betrug hier 6,75 m. Obwohl das Gestein nach allen Seiten gerichtete Klüfte und Ablösungen zeigte, konnte man manchmal auf größeren Strecken eine ziemlich einheitliche Klüftung nachweisen, so z. B. bei 1800 m WNW—OSO: sie änderte sich aber in ca. 2000 m in N, dann in NNO: in 2150 m strich eine fast spiegelglatte Schubfläche bei steilem Einfallen zur Tunnelachse, 30 m weit im Stollen sichtbar, von W—O. Im Südstollen herrschte lange N—S Klüftung vor. Das Zusammentreffen der beiden Stollen fand in 3031,5 m von N her im Granit statt. Von Mineralien fanden sich neben den drei wesentlichen Bestandteilen des Granits Hornblende, Epidot (besonders reichlich), Chlorit, amethystblauer und heller durchsichtiger Flußspath, Schwefelkies, Quarz und besonders Calcit in schönen Drusen mit halb durchsichtigen Kristallen, in mannigfachen Formen und vielen Kombinationen.

Im Süden wurde der Albulagranit in einer Entfernung von 260 Meter vom Portal Spinas-Bevers getroffen. Er blieb im allgemeinen sehr hart bis ca. 1300 m Portaldistanz, aber bis dahin gab es, ähnlich wie auf der Nordseite, Abänderungen verschiedenen Korns (Granitporphyr, Porphyre und Aplite) und Druckspuren des Gesteins, die dann häufiger und intensiver wurden. In 1057 m S wurde eine ca. 10 Meter mächtige Lage von rötlichem Granit angebohrt, ebenso in 1450 und 1550 m S, in welchem neben dem grünen Plagioklas fleischrote Orthoklaskristalle neben gelbgrünen Epidotschnüren erscheinen. Oft wies der Granit partien- und nesterweise stark vermehrten Glimmergehalt auf. Der Quarzit im Gestein trat ähnlich auf wie im Stollen der Nordseite, Porphyre und Aplite erschienen wie im Nordstollen in zahlreichen Gängen, auch gestörten verworfenen, mit Sprunghöhen bis 0,2 m (z. B. in 1550 m S). Im Granit von Spinas-Bevers scheint die N—S-Klüftung lange herrschend gewesen zu sein, bei 950 m S notierte ich vorherrschend NW—SO-Klüftung, dann eine zweite Klüftung ungefähr N—S und bei ca. 2200 m war die Hauptklüftung SSW—NNO.

In 1931 m S große Ueberraschung: mitten im grünen Albulagranit erschien auf 65 m Länge ein Fetzen von dunkelm Tonschiefer, Mergeln des Lias, wie man sie auf der Predaseite in einer Länge von 1097 m mit Kalksteinen zu durchstechen hatte. Die petrographische Beschaffenheit, wie das Verhalten des Gesteins gegen Säuren erwies durchaus die Zugehörigkeit zum Liasmergel von Preda und nicht etwa zum Casannaschiefer. Der Tonschiefer und Mergel enthielt Quarz, Kalkspath und Graphit. Die ersten von S an getroffenen Mergelfetzen schnitten die Tunnellinie im Winkel von ca. 50°, und das Streichen war jenseits eines kleinen Gewölbes bei einem Einfallen nach S—SSO von W—O gerichtet. Dieser von Granit vollständig eingehüllte Mergelfetzen — im Tunnel ca. 700 m unter der Gebirgsoberfläche auftretend — zeigt keinerlei Kontaktmetamorphose und ist als eine mechanisch abgerissene und eingeknetete Scholle zu betrachten — ein lehrreiches Beispiel für das gewaltige Ausmaß der Bewegungen, welche die Ueberfaltung und Unterschiebung bei der Gebirgsbildung gezeitigt hat.

Denn heute gelten auch die aus granitischen und kristophyllitischen Gesteinen bestehenden ostalpinen kristallinen Massive nicht mehr als autochthones, in der Tiefe wurzelndes Gebirge, sondern als weit aus dem Süden her bewegte, zumteil mit triassischen Schollen bedeckte Massen der ostalpinen Decke, unter deren Gestein in der Giumels-Crastamorakette, am Piz d'Err, Piz Julier und Piz Gravasalvas die Glieder der ältern lepontischen oder rhätischen Decke mit ihren Grünschiefern, Serpentinen, Spiliten usw. vom Oberhalbstein und Albulatal her hinabsinken, um jenseits des Inntales, am Silsersee wieder unter Gneiße und kristalline Schiefer zu tauchen. Tatsächlich ziehen die Schiefergebilde (Lias, Bündnerschiefer) unter den kristallinen Massen durch, die in der weiteren Umgebung verschiedenen, schuppenartig auf einander liegenden Decken angehören. Ein isolierter Rest ihres Zuges ist diese Mergel- und Kalkscholle im Granit des Albulatunnels. Der Gesteinswechsel von Granit und Liasmergel vollzog sich ohne Wasserzudrang.

Während der Stollen in der N-Granitpartie bis 1810 m trocken war, kam von da an eine Anzahl kleinerer Quellen zum Vorschein, die jedenfalls der sumpfigen Mulde innerhalb Albula-Weißenstein mit ihren kleinen Bergseen entsprangen; in deren Nähe führt in der Tiefe der Stollen hin. Im S-Stollen Spinas-Bevers flossen zur Zeit, da man den Granit anschnitt, nur 8 Sekundenliter Wasser aus, in 923 m 14, in 1036 m 45, in 1811 m 60, in 2241 m 70, in 2834 m 97 Sekundenliter, am Tunnelportal gemessen. Durchschlagsstelle gleich 2834,5 m von S an gerechnet.

Der Granit wurde im Südstollen in 260 m Länge getroffen. Hier bewegte man sich auf der Strecke 168—260 m in der Grundmoräne des alten Beversgletschers, aus festem Lehm mit eckigen, zum Teil geschrammten Geschieben bestehend, das Material, in welchem natürlich die Arbeit des Pickels waltete, war immer vollständig trocken; 168 m hinter dem Tunnelportale ward es vom Granitschutt abgelöst, der auf dieser ganzen Strecke schwierige Arbeit bot. Es war mit erratischen Blöcken gemischter Trümmer- oder Gehängeschutt, der feinen Sand enthielt und Wasser führte.

Wenden wir uns zum Schlusse noch zu den Gesteinstemperaturen im Albulatunnel. Herr Ingenieur R. Weber in Preda bestimmte die Gesteinswärme in einem Bohrloche bei 2200 Meter Horizontaldistanz vom Südportal weg, aber erst nach dem Durchschlag des Stollens. Sie betrug nur 11,25° C. Unter diesen Verhältnissen würde die Temperatur bei 2300 Meter S demjenigen Tunnelpunkte, der unter der Maximal-Gebirgshöhe des Tunnels liegt (2735 Meter, Piz Giumels aber 2785 Meter; Gebirgsüberlagerung über dem Punkte 2300 Meter der Tunnellinie = 912 Meter, beim Gotthardtunnel = 1752 Meter), einen halben Grad Celsius mehr betragen haben. Der Wert ist aber viel zu gering, der Stollendurchschlag war schon lange vor der Messung erfolgt, der Luftzug im Stollen stark und diese Luft durch Schneefälle im Gebirge abgekühlt. Nehmen wir nun die Erfahrungen am Simplon zu Hülfe, wonach in 7000 bis 7400 Meter vom Nordportal weg die Temperaturen, welche unter Verzögerung von nur drei bis vier Tagen in 1,5 Meter tiefen Bohrlöchern bestimmt wurden, um 3,6—4,6° C. hinter der wirklichen Gesteinstemperatur zurückblieben, so erhalten wir als Maximum der Gesteinswärme im Albulatunnel = ca. 15° C. Dies dürfte dann als möglichst hoch gegriffen erscheinen. Im Gotthardtunnel betrug das Temperaturmaximum des Gesteins 30,8, im Arlberg 18,5° C., dort bei 1752 Meter, hier bei 715 Meter Gebirgsüberlagerung. Die Geothermische Tiefenstufe für das Gebirge mit dem Albulatunnel beträgt bei der Annahme von 15° C. = 58—59 Meter (im Gotthard 48 Meter). Die im Stollen aufgetretenen Quellen wiesen im Maximum 11—12° C. Wärme auf. Zwischen 2329 und 2335 Meter S nahe an der Stelle unter der größten Gebirgsüberlagerung, maß eine Quelle 11,5° C.; es traten aber auch bei geringerer Gebirgsüberlagerung Quellen auf, die etwas höher temperiert erschienen, z. B. bei 1900 Meter S eine solche von 12° C. (bei 17° C. Lufttemperatur). Die Wärmezunahme des Wassers von Quellen darf nicht der des Gesteins gleichgesetzt werden, da einmal die mittlere Jahrestemperatur der Einflußstelle, die beim Gestein nur bis zu einer gewissen Tiefe wirkt, mit dem Wasser herunter geht und das Wasser weiter desto weniger Wärme erhält, je schneller es herabfließt (Dunker).

VI. Der Oberbau.

Die Schienenprofile, Schwellen und Befestigungsmittel sind auf Tafel 5 dargestellt.

Von Thusis bis Silisur (25‰) sind — wie in den alten Linien der Rhätischen Bahn — Schienen von 25 kg/m verwendet, von Silisur bis St. Moritz (35 ‰) Schienen von 27 kg/m.

Die Schienenlänge beträgt 12 m und ruht auf 16 Querschwellen.

Der Oberbau ist mit eisernen Querschwellen von 1,8 m Länge durchgeführt, welche in der Mitte eingeschnürt sind, um trotz ihrer Kürze eine sichere Lage zu haben.

Nur im Albulatunnel liegen eichene Schwellen, weil in so langen Tunneln erfahrungsmäßig das Eisenmaterial durch die Rauchgase allzusehr leidet. Dieselben sind mit Zinkchlorit und einem Zusatz von karbolsäurehaltigem Teeröl imprägniert, haben wie die Eisenschwellen 1,8 m Länge und einem vollkantigen Querschnitt von 20 cm Breite und 15 cm Höhe.

Die Unterlagsplatten wiegen 1,5 kg, die Nägel 0,24 kg. Sämtliche Weichen haben ein Kreuzungsverhältnis von 1:7, Zungen von 3,5 m Länge und einen Weichenradius von 80 m.

Auf den Stationen beträgt die Gleisentfernung 4 m, die Ausweichlänge mindestens 120 m.

Die Anordnung der Stationen ist in den Beispielen von Tiefencastel und St. Moritz auf Tafel 31 dargestellt.

Bei den langen Personenzügen im Hochsommer erweist sich die Ausweichlänge von 120 m nicht selten als zu klein, so daß alsdann die Sackgeleise zu Hilfe genommen werden müssen.

Die Summe der Nebengeleise der Stationen beträgt 8000 m oder 13 % der Bahnlänge.

Auf der Rheinbrücke, dem Solis- und dem Landwasserviadukt, sowie in den Bögen von 100 m Halbmesser oberhalb Station Tiefencastel sind gegen Entgleisungsgefahr Sicherheits-Leitschienen eingelegt, auf der Rheinbrücke beidseitig, im Uebrigen nur am innern Strang.

Die Anschaffungspreise franko Station Landquart betrugen laut Verträgen vom Januar 1901:

für Schienen und Schwellen .	Fr. 124.50	per Tonne
„ Winkellaschen	„ 297.50	„ „
„ Nägel	„ 400.—	„ „
„ Klemmplatten	„ 389.50	„ „
„ Laschenbolzen	„ 365.—	„ „
„ Hakenbolzen	„ 395.—	„ „

Die Schienen wurden von Gebr. Röchling in Völklingen, die Schwellen von den Burbacher Eisenwerken geliefert.

Die eichenen Schwellen kosteten franko Landquart per Stück Fr. 4.16, während nach obigen Preisen eine eiserne Schwelle von 37 kg Gewicht Fr. 4.60 kostete.

Der eiserne Oberbau mit den schwereren Schienen wiegt 110 kg/m und kam samt Transport und Legen auf Fr. 22.—/m zu stehen.

Die Weichen wurden aus Material der Rhätischen Bahn auf eisernen Schwellen von den v. Rollschen Eisenwerken zum Preise von Fr. 630 hergestellt.

Soweit die Weichen bei Personenzügen nicht von Wärtern bedient werden, sind sie durch einen Bügel, der unten am Stellhebel angebracht ist, verschlossen, doch geht man nach und nach zur Verriegelung nach System Glauser-Felder über, welche selbsttätig ist und bei welcher durch Aufschneiden nur zwei Stifte abgescheert werden.

Die Drehscheiben haben einen Durchmesser von 8,94 m, mit Ausnahme der Drehscheibe in der zuletzt erstellten Station St. Moritz, welche mit Rücksicht auf die neuen Maschinen mit Schlepptender 13 m Durchmesser hat. Letztere kostet Fr. 13,000.—, während erstere zum Preis von Fr. 6,000.— hergestellt werden konnten.

Das Biegen der Schienen für die gekrümmten Bahnstrecken geschah im Werk gegen einen Zuschlag von Fr. 2.— per Tonne.

Die Gesamtkosten des Oberbaus betragen:

Fr. 1,646,700.—
oder Fr. 26,700.— /km Bahn.

VII. Der Hochbau.

Die Hochbauten der Nordseite sind mit etwas vergrößerter Höhe des Dachgeschosses gleich denen der Type II der Linie Landquart-Davos als ebenerdige Holzbauten hergestellt, während die Aufnahmsgebäude im Engadin teils aus klimatischen Rücksichten, teils wegen der hohen Holzpreise in verputztem Bruchstein ausgeführt wurden.

Die Aufnahmsgebäude von Tiefencastel und von St. Moritz sind als Beispiele auf Tafel 32 dargestellt.

Die Hochbauten wurden von folgenden Unternehmern ausgeführt:

1. Station Sils-Solis . . . . von Schamaun in Sils.
2. Tiefencastel, Surava, Filisur, Stuls, Bergün und Preda „ Caprez & Cie. in Davos.
3. Alvaneu . . . . „ Durisch & Simeon in Alvaneu
4. Bevers, Samaden und Celerina . . . . „ Huder & Ißler in Chur & Davos,
5. St. Moritz . . . . „ Huder, Baumeister und Chaletfabrik Davos.

Die eisernen Vordächer lieferte Versell & Cie. in Chur.

Die hölzernen Aufnahmsgebäude von 10 m Länge und 6 m Breite mit angebautem Güterschuppen von 5 m Länge, wie sie in Sils, Solis, Surava, Alvaneu, Filisur, Bergün, Preda und Spinas hergestellt sind, kosteten Fr. 15—18,000.—. Tiefencastel erhielt noch eine Veranda, welche für den dort einmündenden Postverkehr als Sommer-Wartsaal dient.

Die Aborte der kleinen Stationen kosteten Fr. 1,500.—. Die sechs einfachen Wärterhäuser (5,4 × 7,25 m) kosteten mit angebautem Stall und Abort (1,7 × 3,45) Fr. 8,500.—.

Die Aufnahmsgebäude der Stationen Bevers (15 × 10 m), Samaden (20 × 10 m) und St. Moritz (29 × 12 m) kosteten mit eisernem Vordach Fr. 47,000.—, 58,000.— und 90,000.—, wobei in Samaden eine abnormale Fundierung in sumpfigem Boden nicht eingerechnet ist.

Die Güterschuppen (20 × 8,2 m) kamen in Bevers, Samaden und St. Moritz je auf Fr. 15,000.— zu stehen.

Die Wagenremise (33 × 14 m) in Samaden kostete Fr. 150.— per Stand.

Die Werkstätte mit Lokomotivremise in Samaden (54 × 24,5 m) kostet ohne maschinelle Einrichtung Fr. 90,000.—. Die maschinelle Einrichtung derselben, zusammen mit derjenigen für die erweiterte Werkstätte in Landquart, wurde mit Fr. 200,000.— präliminiert.

Die kleinen heizbaren Wärterbuden (3,2 × 2,5 m) auf den Stationen kosten Fr. 1,100.—.

Die Trinkwasserversorgung der Stationen kam durchschnittlich auf je Fr. 1,000.— zu stehen; die Wasserstationen haben Feldreservoir (mit Ausnahme von Samaden) und Wasserzuleitung aus besonderen Quellen oder aus der Orts-Wasserleitung.

Die bezüglichen Erd-, Mauerungs- und Leitungsarbeiten samt den Wasserkranen kosteten

in Tiefencastel	Fr. 5,800.—
„ Filisur	„ 6,300.—
„ Bergün	„ 6,900.—
„ Muot	„ 5,200.—
„ Samaden	„ 4,000.—

Die gesamten Kosten des Hochbaus und der mechanischen Einrichtungen betragen:

Fr. 1,137,000.—

oder Fr. 18,400.—/km

Hierin sind Fr. 160,600.— für die Werkstättenerweiterung in Landquart inbegriffen.

In Bevers, Samaden und St. Moritz stellte sich bald das Bedürfnis heraus, für die Bahnbediensteten Wohnhäuser zu erstellen, da es dort nicht möglich war, anderweitig geeignete Unterkunft zu finden. Die Kosten dieser Miethäuser sind in obiger Rechnung nicht enthalten.

VIII. Telegraph, Signale, Einfriedigung.

Die Albulabahn ist mit Telegraph- und Telephoneinrichtung ausgerüstet. Sie besitzt von Thusis bis Preda und von Celerina bis St. Moritz selbständige Leitung mit imprägnierten Holzstangen und 14 mm starken Eisendrähten. Im Albulatunnel benützt die Rhätische Bahn gegen entsprechenden jährlichen Zins für ihren Telegraph zwei Adern des 14-doppeladrigen Kabels der eidgenössischen Verwaltung, welches in besonderem Kanal liegt und mit Kabelschutz aus Zoreseisen versehen ist. Für den Telephondienst besteht im Tunnel ein besonderes, von der Rhätischen Bahn mit Benützung des gleichen Kanals und Kabelschutzes gelegtes vieradriges Kabel.

An das Telephonkabel sind in den fünf Kilometerkammern des Albulatunnels Sprechapparate angeschlossen.

Von Spinas bis Celerina sind auf Grund der üblichen Vereinbarungen die Leitungen der Rhätischen Bahn auf deren Rechnung durch die eidgenössische Telegraphenverwaltung erstellt und an ihrem eigenen auf Bahnboden stehenden Gestänge angebracht worden.

Die Kosten der selbständigen, zweidrähtigen, offenen Leitung der Rhätischen Bahn beliefen sich auf Fr. 380.— per Km.

Die blanken Telegraphen- und Telephonleitungen haben in den schwierigen Bergstrecken und insbesondere in den nassen Tunneln vielfach Ableitungen erlitten und mußten einer sehr sorgfältigen Aufsicht unterstellt werden. Das Ziehen isolierter Drähte in den Tunneln brachte zwar Besserung, aber nicht auf die Dauer, so daß die gänzliche Entfernung der offenen Leitungen aus den längern Tunneln, sei es durch Verlegen ins Freie, sei es durch Legen in Kabel, in ernste Erwägung gezogen wird.

Die Telephonapparate in den Kammern des Albulatunnels litten, trotzdem diese Kammern möglichst gegen Nässe geschützt wurden, in hohem Grade durch die allgemeine Tunnelfeuchtigkeit und mußten deshalb bald durch sogenannte Bergwerkstelephone von Siemens und Halske ersetzt werden.

Stationsdeckungssignale wurden anfänglich nur in Solis, Muot, Preda und Spinas wegen der anstoßenden Tunnel angeordnet. Mit der Zeit werden aber, angesichts der steten Zunahme der Dichtigkeit des Zugverkehrs, alle Kreuzungsstationen damit versehen werden.

Mit Weichensignalen sind alle von Zügen befahrenen Weichen ausgestattet.

Für die Einfriedigung war die Verordnung betreffend Bau und Betrieb der schweizerischen Nebenbahnen maßgebend, gemäß welcher auf Nebenbahnen mit durchgehender Bremsung der Züge im allgemeinen keine Barrieren und Einfriedigungen vorgeschrieben sind und nur da, wo besondere örtliche Verhältnisse mit starkem Bahn- oder Straßenverkehr, große Gefälle, verdeckte Lage der Uebergänge, Bahneinschnitte mit steilen Mauern, allgemeiner Weidgang, Parallelstraßen in Bahnhöhe oder ob Einschnitten, dazu Anlaß geben, von der Aufsichtsbehörde verlangt werden können.

Die Konstruktion der Einfriedigungen ist auf Tafel 9 dargestellt und hat Fr. 1.35 per lfd. Meter gekostet.

Straßenübergänge auf gleicher Höhe sind tunlichst vermieden. Abgesehen von unvermeidlichen Feldwegübergängen, welche selbstschließende Türen von Eichenholz erhalten haben, kommen vier Uebergänge von Verkehrsstraßen vor, welche alle am Anfang oder Ende einer Station liegen und von der anstoßenden Station mittels Drahtzug durch Schlagbäume gesperrt werden.

Die Gesamtkosten dieser Rubrik belaufen sich auf Fr. 124,337 oder Fr. 2,000 per Km.

IX. Rollmaterial.

Für die Albulabahn wurde kein Spezialmaterial beschafft, sondern es wurde der bestehende Rollpark dem zu erwartenden Verkehre entsprechend verstärkt. Die Erfahrung zeigte aber bald, daß die Zugsbelastungen die Voraussetzungen bedeutend übertrafen, so daß, um zu häufigen Vorspann zu vermeiden, stärkere Maschinentypen gewählt werden mußten, welche imstande sein sollten, die Verkehrsmenge eines jeden von der Anschlußbahn gebrachten Personenzuges ohne Teilung abzunehmen. Um den Kessel zu diesem Zwecke zu vergrößern, ohne die Achsbelastungen zu erhöhen, mußte der Vorrat an Kohle und Wasser auf einem Schlepptender verwiesen werden. Dadurch konnte auch die große Zahl der Wasserfassungen auf der langen Rampe Thusis-Scheitelhöhe des Albulatunnels (1123 m Erhebung) vermindert werden. So gelangte man zu der Type G $^4/_5$ mit vier gekuppelten Achsen und Schlepptender (siehe Tafel 33 b und c).

Günstige Versuche mit dem Schmit'schen Ueberhitzer führten zu dessen defintiver Annahme. Die acht neuesten Maschinen sind damit ausgerüstet.

Zur tunlichsten Einschränkung der Rauchentwicklung der Lokomotiven in den vielen Tunneln sind alle Maschinen mit Langer'schem Rauchverzehrer ausgerüstet und zwar mit gutem Erfolge.

Für die Verstärkung des Personenwagenparks (Tafel 34 a und b) blieb man im allgemeinen bei den bisherigen Konstruktionen, doch gab man den Wagen etwas mehr Höhe und ersetzte das Petroleumlicht, nachdem Versuche mit Acetylen ohne günstigen Erfolg geblieben waren, durch die elektrische Beleuchtung nach System Stone, das in England an vielen tausenden von Wagen sich schon vortrefflich bewährt hatte.

Der Stand des Rollmaterials für das nunmehr 173 km. lange Netz der Rhätischen Bahn auf Anfang 1907 ist aus folgenden Tabellen ersichtlich.

a) Lokomotiven der Rhätischen Bahn (173 km) anfangs 1907.

Erbaut von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur.

Typen-Skizzen	Serie	Nummer	Anzahl	Jahr der Inbetriebsetzung		Triebrad-Durchmesser	Zylinder			Kessel				Gewichte									Größte Dimension.		Radstand			Max.-Geschwindigk.
				Maschine	Kessel		Durchmesser	Kolbenhub	Disposition	Max.-Druck	Heizfläche (wasserberührt) Direkt	Heizfläche (wasserberührt) Total	Rost-Fläche	Total voll ausgerüstet	Maschine Ganz leer	Maschine Dienstbereit voll	Adhäsionsgewicht Max.	Adhäsionsgewicht Min.	Max. Achsbelast.	Tender Leer	Fassung Speise-Wasser	Fassung Brenn-Material	Länge inkl. Puffer	Höhe	Fest	Total exkl. Tender	Total inkl. Tender	
						mm	mm	mm		Atm.	m²	m²	m²	t	t	t	t	t	t	t	m³	t	m	m	m	m	m	km p. Std.
	G 3/4	1—5	5	1889	1889						4,80	62,00	0,90	30.00	23,50	30,20	25,70	22,50	8,70	—	2,60	0,95	7,950	3,630	2,400	4,500	—	45
	„	6—8	3	1896	1896	1050	340	500	Ah†	12		61,10	0,90	31,70	24,50	31,70	27,50	23,90		—	3,10	1,10	8,384	3,650				
	„	9—14	6	1901—03	1901—03				† Außen horizontal		6,20	65,00	1,03	34,53	26,64	34,53	27,98	25,90	9,60	—			8,434	3,570	2,600	4,700	—	45
	G 2×2/2	21, 22	2	1891	1891	1050	330/490	550	„	12	6,10	80,20	1,44	40,50	32,40	40,50	40,50	35,50	10,125	—	3,01	1,20	10,250	3,615	1,600/1,600	5,200	—	45
	G 2/2+2/3	23, 24	2	1896	1896									44,50	36,50	44,50	40,50	36,50	10,125	—	3,40	1,20	10,343	3,772		6,600	—	
						1050	315/490	550	„	14	7,00	79,00	1,30												1,600/1,600			45
	G 2/3+2/2	25—32	8	1902—03	1902—03									45,64	38,18	45,64	41,77	37,46	10,69	—	3,45	1,20	10,626	3,700		7,010	—	
	G 4/5	101—104	4	1904	1904		440			13	7,60	117,60	1.90	58,92	41,80	45,92	40,94	40,94		6,00	5,00	2,00	13,220	3,670			10,670	
	„	105, 106	2				660			14		131.40																
	„	107, 108	2	1906	1906	1050	440	580	Ag*	12	8,40	133,0	2.10	67,15	42,00	47,00	42,60	42,60	10,67	7,80	9,85	2,50	13,970	3,700	2,450	6,100	11,320	45
	„	109—114	6	1907	1907				* Außen *geneigt	12																		
		Total	40																									

Bremsen. Wo nichts bemerkt, ist Spindelbremse am Tender vorhanden. Repressions-Bremse bei Nr. 1—14, 23—32, 101—114. — Automatische Hardy-Bremse bei allen Maschinen, ausgenommen 21 und 22. — Automatische Hardy-Bremse für den Zug bei allen Maschinen. — 101—114 haben automatische Hardy-Bremse für Maschinen und Tender. —

Bemerkungen. Dampfheizung, Zentralpuffer und 2 Schraubenkuppelungen bei allen Maschinen. — Compound, 4 Zylinder, bei Nr. 21—32, Mallet. — Compound, 2 Zylinder, bei Nr. 101—106. — Ueberhitzer Schmit 2 Zylinder bei Nr. 107—114. — Alle G 4/5 haben 15 mm bezw. 40 mm Seitenspiel in den Kurbelzapfen der 2. bezw. 4. Achse. Alle Lokomotiven sind mit Langerschem Rauchverzehrer ausgerüstet.

b) Personenwagen der Rhätischen Bahn.

Serie	Zahl	Tara pro Wagen	Tara pro Sitzplatz	Zahl der Sitzplätze pro Wagen I. Kl.	II. Kl.	III. Kl.	Ga. pro Wagen	im ganzen n. Klassen I. Kl.	II. Kl.	III. Kl.	Total	Achsenzahl pro Wagen	im ganzen	Totaler Radstand	Länge zw. Puffer	Heizung	Beleuchtung	Bremsen
														mm	mm			
As.	1	7,300	406	18	—	—	18	18	—	—	18	2	2	4,300	9,545	Alle haben Dampfheizung.	Die normale Beleuchtung ist elektrisch, System Stone. Aeltere Wagen haben noch Petroleumbeleuchtung, welche bald durch elektrische ersetzt sein wird.	Alle besitzen selbsttätige Hardy-Bremse und Spindelbremse.
As.	2	9,100	455	20	—	—	20	40	—	—	40	2	4	5,000	10,440			
Ass.	1	6,540	934	7	—	—	7	7	—	—	7	2	2	3,150	7,450			
Ag.	8	10,600		24	—	—	24	192	—	—	192	2	16	5,000	10,440			
A.B.	4	6,900	288	12	12	—	24	48	48	—	96	2	8	4,300	9,540			
A.B.g.	33	10,610	442	12	12	—	24	396	396	—	792	2	66	5,000	10,440			
A.B.C.g.	6	9,540	239	6	6	28	40	36	36	168	240	2	12	5,000	11,440			
A.B.C.[4]	3	16,820	323	6	6	40	52	18	18	120	156	4	12	10,600	14,300			
B.	17	8,780	366	—	24	—	24	—	408	—	408	2	34	5,000	9,545			
B.Cg.	5	9,000	225	—	12	28	40	—	60	140	200	2	10	5,000	11,400			
C.	55	7,930	198	—	—	40	40	—	—	2200	2200	2	110	5,000	9,500			
C.	4	9,350	213	—	—	44	44	—	—	176	176	2	8	5,500	11,064			
	139		—					755	966	2804	4525		284					

Bemerkungen: Die Tara der Radstände und die Länge entsprechen den bezüglichen Zahlen der neuesten Wagen. — Alle Wagen, mit Ausnahme der A.B.C.[4], welche Drehgestelle besitzen, haben entweder verstellbare Achsen, System Pape Schreck, oder freie Lenkachsen. — Die mit „g" bezeichneten Wagen haben Seitengänge.

c) Güterwagen der Rhätischen Bahn.

Serie	Zahl	Tara	Tragkraft	Innere Dimensionen Länge	Breite	Wandhöhe	Freie Bodenfläche	Lade-Raum	Radstand	Länge zw. Puffer	Bremsen	Bemerkungen
		kg	kg	mm	mm	mm	m²	m³	mm	mm		
F.	20	7190	10,000	6370	2350	2020	12,6	25,5	4400	8680	Alle Wagen sind mit selbsttätiger Hardy-Bremse und mit Spindelbremse versehen.	Dampfheizung, Petrollicht.
K.	186	5620	10,000	5906	2330	2020	13,8	27,8	3150	7450		
L.	40	5150	10,000	6030	2330	1000	14,1	—	3150	7450		Die Maßangaben sind den neuesten Serien entnommen, weil diese zukünftig maßgebend bleiben.
L[1].	29	5580	12,000	6380	2330	1500	14,7	—	3500	7800		Alle Wagen haben entweder verstellbare Achsen, Syst. Pape-Schreck oder freie Laufachsen.
M.	130	5030	10,000	6100	2400	450	14,6	—	3150	7450		Die neueren Serien haben durchgehende Zugstange, System Wick.
N.	20	3740	10,000	—	—	—	—	—	1500	3700		Alle Güterwagen haben Heizleitung.
Summe	425											

d) Spezialwagen.

Serie	Zahl	Tara	Tragkraft	Länge	Breite	Wandhöhe	Freie Bodenfläche	Lade-Raum	Radstand	Länge zw. Puffer	Bremsen	Bemerkungen
X.[4]	1	18,840	10,000	9870	2350	2100	—	—	7700	11,540	Wie oben	Wie oben. — Zwei zweiachsige Drehgestelle

Hülfswagen mit Ausrüstung für Entgleisungen und Unfälle.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit für alle Maschinentypen ist auf 45 km pro Stunde normiert. Der Ausarbeitung der Fahrpläne werden folgende Normen zugrunde gelegt:

	Höchstgeschwindigkeit km per Stunde
In Gefällen bis und mit 25 ‰	40
„ „ über 25 ‰	30
„ jedem Gefälle durch Bögen mit Radien von 150 m und darunter	30
Auf Strecken mit häufig vorkommenden Radien von 150 m und darunter, durchgehends	30
Fahrt gegen Weichenspitze in die Ausweiche	25

In Ausnahmsfällen, wie bei Verspätungen, Sonder- und Hülfszügen darf auf schlanken Strecken mit Gefällen bis zu 25 ‰ die Geschwindigkeit auf 45 km per Stunde gesteigert werden.

Die Belastungsnormen sind wie folgt festgesetzt:

	0—14 ‰	25 ‰	35 ‰	45 ‰
Für Type G 3/4	150 t	55—90 t*	55—65 t*	45 t
„ „ G 2/2 + 2/3 t	235 t	100—140 t*	90—110 t*	70 t
„ „ G 4/5	240 t	105—150 t*	95—115 t*	75 t

* je nach der einzuhaltenden Geschwindigkeit und der Länge der Rampe.

Die schwersten Züge der Albulalinie führen mit Vorspann Belastungen bis zu 170 t (ausschließlich Maschinen).

Alle Fahrzeuge sind mit automatischer Luftsaugbremse versehen, wodurch große Regelmäßigkeit und Sicherheit der Fahrt gewährleistet ist.

Der Zugsverkehr im Sommer 1907 ist im graphischen Fahrplan, Tafel 36 dargestellt.

Zur Erzielung steter Bereitschaft bei Schneefällen, welche in den Höhen von 1000 m bis 1818 m ü. M. eine wichtige Rolle spielen, sind von Mitte Oktober bis Ende April alle Maschinen mit einem kleinen, an der Lokomotive direkt befestigten Schneepfluge von 1,10 m Höhe versehen. Ferner sind vier größere Schneepflüge von 2,00 m Flügelhöhe und 15 Tonnen Gewicht auf zweiachsigem Fahrzeug in den gefährdeten Strecken verteilt, welche mit je einer Maschine gestoßen werden. Die großen Schneepflüge (Tafel 35) haben verstellbare, starke Flügel, die auf freier Bahn ausgestellt werden und dadurch die mit den kleinen Pflügen geöffnete Bahn um einen Meter verbreitern, sowie den größern Teil des Schnees entsprechend weit hinausschleudern. Diese Pflüge verkehren in kritischen Zeiten Tag und Nacht. Sie haben bisher stets freie Bahn erhalten. Außerdem müssen aber starke Arbeitergruppen jeweilen den von den Pflügen zur Seite geschleuderten Schnee noch weiter werfen, um wieder Raum für neuen Schnee zu schaffen.

Diese Maßregeln haben, in Verbindung mit den schon beschriebenen Schutzvorkehrungen gegen Lawinen und Schneerutsche, bisher genügt, um den ungestörten Verkehr der Züge zu sichern, obgleich die Schneedecke wiederholt Höhen von 1,50 m an der Albulalinie und von 2,50 m an der Linie Landquart-Davos erreicht hat.

Der Aufwand für das Rollmaterial der Albulabahn beträgt

Fr. 1,441,700.—

oder

Fr. 23,300.— per Kilometer,

X. Die Gesamtkosten der Bahnanlage.

Behufs Zusammenstellung der Gesamtkosten der Bahnanlage sind noch zunächst die Kosten der Organisation und Verwaltung, der Bauzinsen und der Grundeinlösung kurz zu besprechen.

1. Organisation und Verwaltung.

Die Kosten dieser Rubrik betragen, nach Abzug von Fr. 116,321.—, die für Vorprojekte und Konzessionen ausgegeben waren

für das technische und administrative Personal	Fr. 751,300.—
„ die Bureaumieten und -Bedürfnisse, sowie Meßgeräte	„ 100,000.—
„ die Probegruben und -Stollen, Fußweganlagen usw.	„ 140,000.—
„ die Aufseher und Meßgehilfen	„ 180,000.—
Zusammen	Fr. 1,171,300.—

oder Fr. 19,000 per Kilometer.

Zum Vergleich möge beigefügt werden, daß dieselben Leistungen per km Bahnlinie kosteten:

beim Bau der Linie Zürich-Rapperswil	Fr. 25,700.—
„ „ „ „ Schaffhausen-Etzweilen	„ 14,500.—
„ „ „ „ Schaffhausen-Eglisau	„ 18,700.—
„ „ „ „ Thalwil-Zug	„ 27,700.—
„ „ „ „ Zug-Goldau und Luzern-Immensee	„ 34,000.—

Dieser Betrag hängt ab von der Schwierigkeit und Dauer des betreffenden Bahnbaus, jedoch nicht von der Spurweite.

Die Gehalte der Sektionsingenieure betrugen	Fr. 7—9000.—
„ „ „ Bauführer	„ 3—5000.—

Nach Bauvollendung erhielten die Sektionsingenieure und die Ingenieure des Albulatunnels eine Abfertigung im Betrag eines Jahresgehaltes, die jüngern Ingenieure im Betrag eines Halb- oder Vierteljahres.

Während der ganzen Bauzeit waren die Ingenieure, Aufseher, Meßgehilfen und Arbeiter der Rhätischen Bahn gegen Unfall versichert, wobei die Bahnverwaltung die Hälfte der Kosten auf sich nahm.

2. Bauzinsen.

Die Bauzinsen ergeben einen Betrag von

Fr. 557,345.—.

Im Verhältnis zu andern Bahnbauten ist derselbe gering und ergibt, selbst wenn man nur den Unterbau und die Verwaltung mit zusammen Fr. 20,103,000.— in Betracht zieht, nur $2^3/_4$ % dieser Summe.

Es beruht dies darauf, daß der Bundesbeitrag gar nicht, die Aktien nur mit 2 % und die Obligationen mit $3^3/_4$ % zu verzinsen waren.

3. Grundeinlösung.

Da laut Eisenbahngesetz vom 20. Juni 1897 die Gemeinden verpflichtet waren, den zum Bahnbau erforderlichen Gemeindeboden unentgeltlich abzutreten und von 62 Bahnkilometern nur 26 km auf Privatboden liegen, so war das Gebiet der käuflichen Erwerbung wesentlich eingeschränkt, wobei jedoch zu bemerken ist, daß von 15 Stationen 13 mit ihrem verhältnismäßig großen Flächenbedarf Privatgrund in Anspruch nehmen.

Die Grundeinlösung konnte auf der Nordseite durchweg auf gütlichem Wege durchgeführt werden, während im Engadin vielfach nicht nur die eidgen. Schätzungskommission, sondern auch das Bundesgericht angerufen wurde.

Die gesamte Einlösung hat Fr. 650,500.— oder auf 26 km verteilt — per Kilometer Fr. 25,000.— gekostet.

Es ergeben sich nun folgendermaßen:

Die Baukosten der Albulabahn bis Ende 1905.

61,752 km lang.

Gegenstand	Voranschlag Fr.	Baukosten Fr. Betrag	Baukosten Fr. per km
1. Organisation und Verwaltung	968,000	1,171,300	19,000
2. Bauzinsen	475,000	557,300	9,000
3. Expropriation	367,000	650,500	10,500
4. Unterbau ohne Albula-Tunnel	10,444,000	11,644,000	306,600
„ Albulatunnel	5,200,000	7,288,400*	
5. Oberbau	1,565,000	1,646,700	26,700
6. Hochbau und mechanische Einrichtung	731,000	1,137,000	18,400
7. Tel., Signale usw.	100,000	124,300	2,000
8. Rollmaterial	1,250,000	1,441,700	23,300
9. Mobiliar und Geräte	100,000	149,800	2,400
Zusammen	21,200,000 (342,000 /km)	25,811,000	417,900
		* incl. Schotter	

Von dem Gesamtbetrag von 26 Millionen, welche für den Bau der beiden Prioritätslinien in Aussicht genommen waren, waren für die Albulabahn Fr. 21,200,000.—, für die Linie Reichenau-Ilanz Fr. 4,800,000.— präliminiert.

Da letztere Linie nur Fr. 4,600,000.— gekostet hat, so ergibt sich, daß obige 26 Millionen im ganzen um Fr. 4,400,000.— überschritten sind.

Bei der Albulabahn findet eine Kosten-Ueberschreitung von rund Fr. 4,600,000.— statt, welche sich auf alle Kapitel verteilt.

Die größte Ueberschreitung bringt der Albulatunnel im Betrag von Fr. 2,028,400.—. Es dürften aber die gegebenen Erläuterungen über Bau und Kosten dieses Tunnels die Ueberzeugung begründen, daß es nicht möglich gewesen wäre, denselben billiger herzustellen.

Die Ueberschreitung des Voranschlages der übrigen Unterbau-Kapitel beruht nicht sowohl auf erhöhten Preisen und Arbeitsmengen, als vielmehr auf besondern Umständen, unter welchen hervorzuheben sind:

1. Die außerordentlichen Kosten des Rugnuxtunnels.
2. „ „ „ der Bergüner Rutschung.
3. „ Mehrkosten, welche durch die neue Stationslage von St. Moritz hervorgerufen sind.
4. „ „ der Schutzbauten gegen Lawinen und Steinschlag.
5. Die größeren Anforderungen, welche seitens der Behörden und der Bevölkerung an die Ausstattung und Sicherung der Bahn und der Stationsanlagen gestellt wurden und zur Folge hatten, daß die Albulabahn sich immer weiter von dem Charakter einer bescheidenen Schmalspurbahn entfernt und demjenigen einer internationalen Verkehrslinie genähert hat.

Diese größern Anforderungen zeigen sich insbesondere auch in den Rubriken 6 bis 9 der vorstehenden Zusammenstellung. Die Mehrkosten dieser Kapitel im Betrage von 671,800.— stehen natürlich im engsten Zusammenhang mit dem unerwartet großen Verkehr, welchen die Albulabahn zu bewältigen hat und können, weil sie einem einträglichen Verkehrszuwachs dienen, überhaupt nicht als Ueberschreitungen angesehen werden.

Wenn man die im Vorstehenden dargelegte Anlage der Albulabahn in ihrer Gesamtheit überblickt, wird man sagen dürfen, daß ein gediegenes Werk geschaffen wurde und daß die dafür verausgabten Summen nützlich und sparsam verwendet sind.

